



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 198 28 672 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶
F 02 M 51/06

②1 Aktenzeichen: 198 28 672.4
②2 Anmeldetag: 26. 6. 98
②3 Offenlegungstag: 7. 1. 99

DE 198 28 672 A 1

③0 Unionspriorität:

9-170498	26. 06. 97	JP
9-243688	09. 09. 97	JP
10-57699	10. 03. 98	JP

⑦1 Anmelder:

Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP; Hitachi Car
Engineering Co., Ltd., Hitachinaka, Ibaraki, JP

⑦4 Vertreter:

Beetz und Kollegen, 80538 München

⑦2 Erfinder:

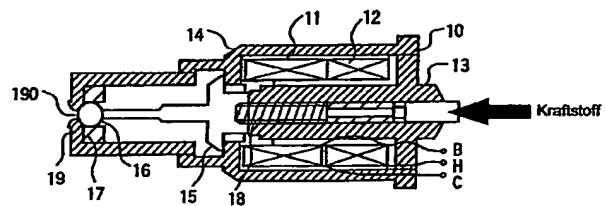
Yamakado, Makoto, Tsuchiura, Ibaraki, JP;
Okamoto, Yoshio, Ibaraki, JP; Arai, Nobukatsu,
Ushiku, Ibaraki, JP; Kadomukai, Yuzo, Ishioka,
Ibaraki, JP; Tanabe, Yoshiyuki, Hitachinaka, Ibaraki,
JP; Hamada, Yasunaga, Hitachinaka, Ibaraki, JP;
Namaizawa, Yasuo, Kashima, Ibaraki, JP; Kubo,
Hiromasa, Yokohama, Kanagawa, JP; Tabuchi,
Kenji, Hitachinaka, Ibaraki, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil und Steuerverfahren hierfür

⑤7 In einem elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil (10) zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs, das einen Ventilsitz (19), ein Ventilelement (16) zum Öffnen/Schließen des zwischen dem Ventilsitz (19) und dem Ventilelement (16) gebildeten Kraftstoffdurchflußwegs sowie eine Antriebseinheit mit wenigstens einer Spule (11) zum Antreiben des Ventilelements enthält, enthält die Antriebseinheit eine erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die die wenigstens eine Spule (11) verwendet, sowie eine zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, wobei die erste Einrichtung (11) eine magnetomotorische Kraft mit einer höheren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Einrichtung (12) erzeugt und erhöht, wobei das Ventilelement (16) mittels der zweiten Einrichtung (12) unter Verwendung eines Stromflusses, der geringer als der Stromfluß durch die erste Einrichtung ist, geöffnet gehalten wird.



DE 198 28 672 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet der Kraftstoffeinspritzung in Verbrennungsmotoren und insbesondere eine Einrichtung und ein Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen und Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs, der zwischen einem Ventilsitz und einem Ventilelement gebildet ist, das durch einen Strom angetrieben wird, der durch Spulen fließt, die in der Kraftstoffeinspritzeinrichtung vorhanden sind.

In einer elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzeinrichtung (die im folgenden einfach Einspritzeinrichtung genannt wird) wird ein Kolben, an dem ein Ventilelement befestigt ist, durch eine magnetische Kraft (magnetische Anziehungskraft), die durch eine in der Einspritzeinrichtung vorgesehene, stromdurchflossene Spule erzeugt wird, zurückgezogen und von einem Ventilsitz gelöst, wodurch Kraftstoff eingespritzt wird. Wenn der durch die Spule fließende Strom unterbrochen wird, nimmt die magnetische Anziehungskraft ab, weshalb der Kolben durch die Kraft einer Rückstellfeder, die den Kolben in Ventilschließrichtung zwingt, zurückgepreßt wird. Dadurch wird das Ventil der Einspritzeinrichtung geschlossen. In der obenbeschriebenen Einspritzeinrichtung muß das Ventil einer Öffnungsanforderung oder einer Schließanforderung nahezu ohne Zeitverzögerung folgen, um für die Kraftstoffeinspritzung einen breiten dynamischen Bereich zu erzielen. Der dynamische Bereich hat die Bedeutung eines Bereichs, in dem die Linearität zwischen der Kraftstoffeinspritzmenge und der Ventilöffnungsanforderungs-Zeitbreite aufrechterhalten wird und der durch das Verhältnis der maximalen Einspritzmenge zur minimalen Einspritzmenge gegeben ist.

Um die Anstiegszeitcharakteristik bei der Ventilöffnung zu verbessern, ist bisher das folgende Verfahren verwendet worden. Durch eine Spannungsaufbauschaltung wird eine Hochspannung erzeugt, wobei durch Anlegen der erzeugten Hochspannung an eine Spule der Einspritzeinrichtung durch die Einspritzeinrichtung für kurze Zeit ein hoher Strom fließt. Beispielsweise ist aus der JP 241137-A (1994) eine Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung bekannt, in der in einer Treiberschaltung zum Antreiben eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils eine Spannungsaufbauschaltung vorgesehen ist, wobei die Spannung, die durch Erhöhen der von der externen Stromquelle gelieferten Spannung von 12 V mittels dieser Spannungsaufbauschaltung auf 70 V erhalten wird, an eine Treiberspule für das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil angelegt wird.

In der obigen Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung wird der Erregungsstrom für die Treiberspule in der Weise gesteuert, daß ein Sollwert des Erregungsstroms zu einem anfänglichen Ventilöffnungszeitpunkt, zu dem ein Ventilelement aus einem geschlossenen Zustand in einen geöffneten Zustand bewegt wird (frühe Periode bei der Ventilöffnung und während des Öffnungsprozesses des Ventils) auf einen hohen Wert gesetzt wird und während einer Ventiloffenhalteperiode, in der das Ventilelement im geöffneten Zustand gehalten wird, durch eine Einschalt-/Ausschaltsteuerung der Treiberspule ein niedriger Strom-Sollwert erzeugt wird. Dadurch wird das Ventilansprechverhalten durch Steuern des Erregungsstroms für die Treiberspule auf den hohen Sollwert während der Ventilöffnungsphase und durch Steuern des Erregungsstroms auf den niedrigen Sollwert während der Ventiloffenhalteperiode verbessert, ferner wird eine Stromverschwendung vermieden und eine Wärmeerzeugung unterdrückt.

Aus der JP 326620-A (1996) ist ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil bekannt, in dem zwei Spulen A und B vorgesehen sind und durch die beiden Spulen A und B

während einer im voraus festgelegten Zeitperiode ab dem Beginn des Stromflusses durch die Spulen während des Ventilöffnungsbetriebs ein Strom fließt. Ferner wird nach der im voraus festgelegten Zeitperiode der Stromfluß in die Spule A unterbrochen, so daß nur durch die Spule B weiterhin ein Strom fließt. In diesem elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil kann durch die Ströme, die während der im voraus festgelegten Zeitperiode nach dem Beginn des Stromflusses durch die Spulen durch beide Spulen A und B fließen, ein starker magnetischer Fluß erzeugt werden, so daß ein schneller Ventilöffnungsbetrieb ausgeführt werden kann. Da ferner ein Ventilelement im Zustand mit geöffnetem Ventil während der Ventiloffenhalteperiode lediglich mit einer minimalen Kraft gehalten wird, kann außerdem ein schneller Ventilschließbetrieb ausgeführt werden. Da darüber hinaus nur während der Ventilöffnungsoperationen durch die Spulen ein großer Strom fließt, kann eine Wärmeerzeugung im Einspritzventil unterdrückt werden.

Ferner ist in der Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung, die aus der obengenannten JP 241137-A (1994) bekannt ist, ein Detektor zur Erfassung des Kraftstoffförderdrucks (Kraftstoffdruck) vorgesehen, wobei der hohe Sollwert für den Erregungsstrom oder aber die Steuerperiode, während der der Erregungsstrom den hohen Sollwert annimmt, auf der Grundlage des vom Detektor erfaßten Kraftstoffdrucks eingestellt wird. Dadurch kann eine Verschlechterung der Einspritzleistung des elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils aufgrund von Änderungen des Kraftstoffdrucks vermieden werden.

In der Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung, die aus der obengenannten JP 241137-A (1994) bekannt ist, in der im Kraftstoffeinspritzventil eine einzige Spule vorgesehen ist, wird das Ventilelement durch diese eine Spule vom Beginn des Ventilöffnungsbetriebs zum Ende des Ventilöffnungsbetriebs (Ventilschließbetrieb) durch Halten des Zustand mit geöffnetem Ventil gesteuert.

Es ist notwendig, den Strom durch die Spule abzusenken, um die Wärmeerzeugung und/oder den Stromverbrauch im Kraftstoffeinspritzventil zu reduzieren. Um jedoch eine magnetomotorische Kraft zum Halten des Zustandes mit geöffnetem Ventil mit einem geringen Spulenstrom zu erzielen, muß die Anzahl der Spulenwindungen erhöht werden. Da andererseits die Anstiegszeit des Spulenstroms kurz sein sollte, um das Ansprechverhalten beim Öffnen des Ventils zu verbessern, ist statt der Erhöhung der Anzahl der Spulenwindungen eher eine Erhöhung der an die Spulen angelegten Spannung erforderlich. Das heißt, daß die aus der JP 241137-A (1994) bekannte Kraftstoffeinspritz-Steuervorrichtung einen Aufbau besitzt, der in bezug auf die Erzielung sowohl eines schnellen Ansprechverhaltens beim Öffnen des Ventils als auch auf die Erzielung eines geringen Stromverbrauchs während der Ventiloffenhalteperiode in sich widersprüchlich ist, wenn ein und dieselbe Spule gesteuert wird.

Da ferner die obengenannte Spannungsaufbauschaltung teuer ist und Isolationsmaßnahmen für die Hochspannung notwendig sind, werden die Herstellungskosten bei Verwendung der Spannungsaufbauschaltung erhöht. Um daher die Herstellungskosten zu reduzieren, muß die Einspritzeinrichtung bei niedrigerer Spannung, möglichst mit der Batteriespannung von 12 V und ohne Spannungsaufbauschaltung, arbeiten können. Falls darüber hinaus eine Einspritzeinrichtung mit einer niedrigeren Spannung betrieben wird, sind weniger Maßnahmen für die Herstellung der Sicherheit erforderlich, ferner wird die Wartung oder die Einstellung der Einspritzeinrichtung einfacher.

In dem elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil, das aus der obengenannten JP 326620-A (1996) bekannt ist,

sind weder der Aufbau noch die elektromagnetischen Eigenschaften jeder der Spulen A und B offenbart. Wenn lediglich zwei Spulen vorgesehen sind, ohne daß weitere Maßnahmen ergriffen werden, verhindert ein schnelles Ansprechverhalten des Ventilöffnungsbetriebs die Aufrechterhaltung einer notwendigen minimalen magnetomotorischen Kraft, andererseits bewirkt die stabile Aufrechterhaltung der notwendigen und minimalen magnetomotorischen Kraft eine Begrenzung des schnellen Ansprechverhaltens des Ventilöffnungsbetriebs. Deshalb ist es bei der offenbarten Anordnung der Spulen schwierig, ein schnelles Ansprechverhalten des Ventilöffnungsbetriebs, d. h. eine starke Erhöhung der Ventilelement-Anziehungskraft, zu erzielen, was somit eine künftige Forderung darstellt.

Der Erfindung liegt daher die erste Aufgabe zugrunde, ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil zu schaffen, bei dem das Ansprechverhalten beim Antreiben eines Ventilelements aus einem Zustand mit geschlossenem Ventil in einen Zustand mit geöffnetem Ventil verbessert ist und bei dem der Zustand mit geöffnetem Ventil stabil und bei niedrigem Stromverbrauch gehalten werden kann.

Der Erfindung liegt die zweite Aufgabe zugrunde, eine elektromagnetische Kraftstoffeinspritzvorrichtung zu schaffen, die einen breiten dynamischen Bereich aufweist und deren Stromverbrauch gering ist.

Der Erfindung liegt die dritte Aufgabe zugrunde, einen Verbrennungsmotor zu schaffen, bei dem selbst bei geringer Kraftstoffeinspritzmenge ein stabiler Betrieb aufrechterhalten werden kann.

Der Erfindung liegt die vierte Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kraftstoffeinspritzsteuerung zu schaffen, mit dem ein schnelles Ansprechverhalten bei niedrigem Stromverbrauch verwirklicht werden kann.

Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß gelöst durch ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil, eine elektromagnetische Kraftstoffeinspritzvorrichtung, einen Verbrennungsmotor sowie ein Kraftstoffeinspritzsteuerverfahren, die die in den entsprechenden unabhängigen Ansprüchen angegebenen Merkmale besitzen. Die abhängigen Ansprüche sind auf zweckmäßige Ausführungen der Erfindung gerichtet.

Die erste Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs, mit einem Ventilsitz, einem Ventilelement, mit dem der Kraftstoffdurchflußweg, der zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilelement gebildet ist, geöffnet/geschlossen wird, und einer Antriebseinrichtung die wenigstens eine Spule zum Antreiben des Ventilelements enthält, wobei die Antriebseinrichtung eine erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die die wenigstens eine Spule enthält, sowie eine zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält, und die erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft und die zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft so beschaffen sind, daß die erste Einrichtung eine magnetomotorische Kraft mit einer höheren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Einrichtung erzeugt und erhöht.

Ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil gemäß der Erfindung zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs enthält einen Ventilsitz, ein Ventilelement zum Öffnen/Schließen des Kraftstoffdurchflußwegs, der zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilelement gebildet ist, sowie eine Antriebseinrichtung mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements, wobei die Antriebseinrichtung wenigstens eine erste

Spule und eine zweite Spule enthält, wobei die Anzahl der Windungen der zweiten Spule größer als die Anzahl der Windungen der ersten Spule ist.

In dem elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil ist der Drahtdurchmesser des Drahts der ersten Spule größer als der Drahtdurchmesser des Drahts der zweiten Spule.

Ferner enthält ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil gemäß der Erfindung zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs einen Ventilsitz, ein Ventilelement zum Öffnen/Schließen des Kraftstoffdurchflußwegs, der zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilelement gebildet ist, sowie eine Antriebseinrichtung mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements, wobei die Antriebseinrichtung wenigstens eine erste Spule und eine zweite Spule enthält, wobei die erste Spule und die zweite Spule so beschaffen sind, daß, wenn an die erste Spule und an die zweite Spule die gleiche Rechteckspannung angelegt wird, die Anstiegszeit der in der zweiten Spule erzeugten magnetomotorischen Kraft länger als die Anstiegszeit der in der ersten Spule erzeugten magnetomotorischen Kraft ist und ein Sättigungswert des durch die zweite Spule fließenden Stroms kleiner als der Sättigungswert der ersten Spule ist.

Die zweite Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Kraftstoffeinspritzvorrichtung zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs, mit einem elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil, das einen Ventilsitz, ein Ventilelement zum Öffnen/Schließen des zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilelement gebildeten Kraftstoffdurchflußwegs sowie eine Antriebseinrichtung mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements enthält, und einer Steuereinrichtung, mit der das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil durch Steuern des durch die wenigstens eine Spule fließenden Stroms gesteuert wird, enthält, wobei die Antriebseinrichtung eine erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die die wenigstens eine Spule verwendet, und eine zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält, die die Spule und die zweite Einrichtung eine magnetomotorische Kraft in einer Richtung erzeugen, in der sich die von der Spule erzeugte Kraft und die von der zweiten Einrichtung erzeugte Kraft während einer anfänglichen Ventilöffnungsperiode, in der das Ventilelement aus einem geschlossenen Zustand in einen geöffneten Zustand bewegt wird, gegenseitig verstärken, die Spule die magnetomotorische Kraft mit einer höheren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Einrichtung erhöht und

der durch die Spule fließende Strom während einer Ventiloffenhalteperiode, in der das Ventilelement durch die von der zweiten Einrichtung erzeugte magnetomotorische Kraft geöffnet gehalten wird, unterbrochen wird.

Eine Kraftstoffeinspritzvorrichtung gemäß der Erfindung zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs enthält ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil mit einem Ventilsitz, einem Ventilelement zum Öffnen/Schließen des Kraftstoffdurchflußwegs, der zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilelement gebildet ist, sowie eine Antriebseinrichtung mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements und eine Steuereinrichtung zum Betätigen des elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils durch Steuern des durch die Spule fließenden Stroms, wobei die Antriebseinrichtung wenigstens eine erste Spule und eine zweite Spule enthält, die magnetomotorische Kräfte erzeugen, indem durch die erste Spule und durch die zweite Spule in der gleichen Richtung ein Strom fließt, so daß sich die durch die erste Spule er-

zeugte Kraft und die durch die zweite Spule erzeugte Kraft zu einem anfänglichen Ventilöffnungszeitpunkt, zu dem das Ventilelement aus dem Zustand mit geschlossenem Ventil in den Zustand mit geöffnetem Ventil bewegt wird, gegenseitig verstärken, wobei die erste Spule die magnetomotorische Kraft mit einer größeren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Spule erhöht, wobei der durch die erste Spule fließende Strom während der Ventiloffenhalteperiode unterbrochen wird, in der das Ventilelement durch die magnetomotorische Kraft geöffnet gehalten wird, die durch den durch die zweite Spule fließenden Strom erzeugt wird.

Die dritte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Verbrennungsmotor, in den Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs eingespritzt wird, der einen Kraftstofftank, eine Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff vom Kraftstofftank fördert und mit Druck beaufschlagt, ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil, das Kraftstoff, der durch die Kraftstoffpumpe mit Druck beaufschlagt worden ist, einspritzt und versehen ist mit einem Ventilsitz, einem Ventilelement zum Öffnen/Schließen des zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilelement ausgebildeten Kraftstoffdurchflußwegs und einer Antriebseinrichtung mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements, sowie eine Steuereinrichtung zum Bestimmen des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts und der vom Einspritzventil einzuspritzenden erforderlichen Kraftstoffeinspritzmenge und zum Betätigen des Einspritzventils durch Steuern des durch die Spule fließenden Stroms enthält, wobei die Antriebseinrichtung eine erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die die wenigstens eine Spule verwendet, und eine zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält, die die Spule und die zweite Einrichtung eine magnetomotorische Kraft in der gleichen Richtung erzeugen, in der sich die von der Spule erzeugte Kraft und die von der zweiten Einrichtung erzeugte Kraft während einer anfänglichen Ventilöffnungszeit, in der das Ventilelement aus dem geschlossenen Zustand in den geöffneten Zustand bewegt wird, gegenseitig verstärken, die Spule die magnetomotorische Kraft mit einer größeren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Einrichtung erhöht und der durch die erste Spule fließende Strom während einer Ventiloffenhalteperiode, in der das Ventilelement durch die von der zweiten Einrichtung erzeugte magnetomotorische Kraft geöffnet gehalten wird, unterbrochen wird.

Ferner enthält ein Verbrennungsmotor gemäß der Erfindung, in den Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs eingespritzt wird, einen Kraftstofftank, eine Kraftstoffpumpe, die den Kraftstoff vom Kraftstofftank fördert und ihn mit Druck beaufschlagt, ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil zum Einspritzen des durch die Kraftstoffpumpe mit Druck beaufschlagten Kraftstoffs, das seinerseits einen Ventilsitz, ein Ventilelement zum Öffnen/Schließen des zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilelement gebildeten Kraftstoffdurchflußwegs besitzt, und eine Antriebseinrichtung mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements enthält, sowie eine Steuereinrichtung zum Bestimmen des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts und der erforderlichen Kraftstoffeinspritzmenge vom elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil und zum Betätigen des elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils durch Steuern des durch die Spule fließenden Stroms, wobei die Antriebseinrichtung wenigstens eine erste Spule und eine zweite Spule enthält, die magnetomotorische Kräfte erzeugen, indem durch die erste Spule und durch die zweite Spule ein Strom in der gleichen Richtung fließt, so daß sich die durch die erste Spule erzeugte Kraft und die durch die

zweite Spule erzeugte Kraft zu einem anfänglichen Ventilöffnungszeitpunkt, zu dem das Ventilelement aus einem Zustand mit geschlossenem Ventil in einen Zustand mit geöffnetem Ventil bewegt wird, gegenseitig verstärken, wobei die erste Spule die magnetomotorische Kraft mit einer größeren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Spule erhöht und wobei der durch die erste Spule fließende Strom während einer Ventiloffenhalteperiode unterbrochen wird, in der das Ventilelement durch die magnetomotorische Kraft geöffnet gehalten wird, die durch den durch die zweite Spule fließenden Strom erzeugt wird.

In der obigen Kraftstoffeinspritzvorrichtung oder in dem obigen Verbrennungsmotor fließt durch die erste Spule während einer im voraus festgelegten Periode ein Strom in entgegengesetzter Richtung, wenn der durch die erste Spule fließende Strom unterbrochen ist, außerdem fließt durch die erste und/oder die zweite Spule während einer im voraus festgelegten Zeitperiode am Ende des Kraftstoffeinspritz-Anforderungssignals erneut ein Strom in entgegengesetzter Richtung.

In der obigen Kraftstoffeinspritzvorrichtung oder dem obigen Verbrennungsmotor sind ein Kraftstoffdruck-Detektor zum Erfassen des Drucks des an das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil geförderten Kraftstoffs und/oder ein Spannungsdetektor zum Erfassen der an die erste Spule angelegten Spannung vorgesehen, wobei die Beziehung zwischen der Zeit, während der der durch die erste Spule fließende Strom unterbrochen ist, und dem Kraftstoffdruck und/oder die Beziehung zwischen der Zeit, während der der durch die erste Spule fließende Strom unterbrochen ist, und der an die Spulen angelegten Spannung in einer Speichereinrichtung in der Steuereinrichtung gespeichert ist und der Zeitpunkt zum Unterbrechen des durch die erste Spule fließenden Stroms anhand eines Ausgangssignals vom Detektor und der entsprechenden der obigen Beziehungen bestimmt wird.

Die vierte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs mittels eines Ventilelements eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils, das eine erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft und eine zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält und durch die magnetomotorischen Kräfte, die durch die erste Einrichtung und durch die zweite Einrichtung erzeugt werden, angetrieben wird, wobei der Kraftstoffdurchflußweg zwischen dem angetriebenen Ventilelement und einem Ventilsitz, auf dem das Ventilelement aufsitzt, gebildet ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte enthält:

Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft durch wenigstens eine Spule, die als erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft vorgesehen ist, und durch eine zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft in einer Richtung, in der sich die von der wenigstens einen Spule erzeugte Kraft und die von der zweiten Einrichtung erzeugte Kraft während einer anfänglichen Ventilöffnungszeit, in der das Ventilelement aus einem Zustand mit geschlossenem Ventil in einen Zustand mit geöffnetem Ventil bewegt wird, gegenseitig verstärken, wobei die von der wenigstens einen Spule erzeugte Kraft mit einer größeren zeitlichen Änderungsrate als derjenigen der Kraft, die von der zweiten Einrichtung erzeugt wird, erhöht wird; und Unterbrechen des Stromflusses durch die wenigstens eine Spule während einer Ventiloffenhalteperiode, in der das Ventilelement durch die von der zweiten Einrichtung erzeugte Kraft geöffnet gehalten wird.

Ferner enthält ein Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs

mittels eines Ventilelements eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils, das eine erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft und eine zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft besitzt und durch die von der ersten Einrichtung erzeugte magnetomotorische Kraft und durch die von der zweiten Einrichtung erzeugte magnetomotorische Kraft angetrieben wird, wobei der Kraftstoffdurchflußweg zwischen dem angetriebenen Ventilelement und einem Ventilsitz, auf dem das Ventilelement sitzt, gebildet wird, die folgenden Schritte: Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft durch Schicken eines Stroms durch wenigstens eine erste Spule und eine zweite Spule in einer Richtung, in der sich die durch die erste Spule erzeugte Kraft und die durch die zweite Spule erzeugte Kraft zu einem anfänglichen Ventilöffnungszeitpunkt, zu dem das Ventilelement aus einem Zustand mit geschlossenem Ventil in einen Zustand mit geöffnetem Ventil angetrieben wird, gegenseitig verstärken; Erhöhen der magnetomotorischen Kraft in der ersten Spule mit einer größeren zeitlichen Änderungsrate im Vergleich zur zweiten Spule; und Unterbrechen des durch die erste Spule fließenden Stroms während einer Ventiloffenhalteperiode, während der das Ventilelement durch die durch die zweite Spule erzeugte magnetomotorische Kraft geöffnet gehalten wird.

In dem obigen Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff wird der Druck des an das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil geförderten Kraftstoffs erfaßt, wobei eine Zeitperiode, während der der Strom durch die erste Spule fließt, verlängert wird, falls der erfaßte Druck höher als der normale Druck ist.

Darüber hinaus wird in dem obigen Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff die an die erste Spule angelegte Spannung erfaßt, wobei die Zeitperiode, während der der Strom durch die erste Spule fließt, verlängert wird, falls die erfaßte Spannung niedriger als die normale Spannung ist.

Der im Zusammenhang mit dem obenbeschriebenen elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil, der obenbeschriebenen Kraftstoffeinspritzvorrichtung und dem obenbeschriebenen Kraftstoffeinspritzverfahren verwendete Ausdruck "magnetomotorische Kraft" hat die Bedeutung eines eine Kraft erzeugenden Magnetfeldes, wobei die Kraft dann, wenn für die Erzeugung der magnetomotorischen Kraft eine Spule verwendet wird, anhand eines Werts geschätzt wird, der durch Multiplizieren der Windungen N der Spule mit dem durch die Windungen fließenden Strom I , d. h. anhand des Produkts $N \cdot I$, erhalten wird. Die obengenannte zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft erzeugt nur eine magnetomotorische Kraft mit einer im Vergleich zur ersten Einrichtung kleineren zeitlichen Änderungsrate und enthält eine Einrichtung zum Erzeugen einer unveränderlichen, d. h. konstanten, magnetomotorischen Kraft, z. B. einen Permanentmagneten oder eine Spule, die von einem Ventilöffnungsbetrieb bis zu einem Ventilschließbetrieb ununterbrochen von einem konstanten Strom durchflossen wird.

Erfindungsgemäß sind eine erste Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die für ein Ventilelement eine Antriebskraft mit kurzer Anstiegszeit erzeugt, um das Ventilelement aus dem Zustand mit geschlossenem Ventil in den Zustand mit geöffnetem Ventil zu bewegen, und eine zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die eine Antriebskraft erzeugt, um den Zustand mit geöffnetem Ventil bei niedrigem Stromverbrauch zu halten, unabhängig vorgesehen. Daher ist es möglich, die Leistung zum Antreiben des Ventilelements aus einem geschlossenen Zustand in einen geöffneten Zustand zu verbessern und den Stromverbrauch zum Halten des Zustandes mit

geöffnetem Ventil unabhängig hiervon zu reduzieren.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden deutlich beim Lesen der folgenden Beschreibung zweckmäßiger Ausführungen, die auf die beigelegte Zeichnung Bezug nimmt; es zeigen:

Fig. 1A, 1B eine vertikale Schnittansicht eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils bzw. eine schematische Darstellung der Verdrahtung einer das Ventil verwendenden Kraftstoffeinspritzvorrichtung gemäß einer ersten Ausführung der Erfindung;

Fig. 2A, 2B die Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen und der erhaltenen magnetomotorischen Kraft bzw. die Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen und dem Spulenstrom bei Verwendung eines internen Widerstandes einer Treiberschaltung als Parametervariable, wobei die erhaltene magnetomotorische Kraft und der erhaltene Spulenstrom Werte besitzen, die kurze Zeit nach Anlegen der Spannung von einer Batterie an die Spule erreicht werden;

Fig. 3A, 3B die Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen und der erhaltenen magnetomotorischen Kraft bzw. die Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen und dem Spulenstrom bei Verwendung des internen Widerstandes einer Treiberschaltung als Parametervariable, wobei die erhaltene magnetomotorische Kraft und der Spulenstrom Werte besitzen, die am Ende einer Standard-Ventilöffnungsanforderungs-Zeitbreite erhalten werden;

Fig. 4A–4F zeitliche Änderungen der Spannung und des Stroms in einer Steuerspule und in einer Haltespule, die einem von einer Motorsteuereinrichtung gemäß der ersten Ausführung der Erfindung ausgegebenen Einspritzsignal entsprechen;

Fig. 5A–5F Graphen ähnlich denjenigen der Fig. 4A–4F, die einem Einspritzsignal mit kurzer Zeitbreite entsprechen;

Fig. 6A–6F Graphen ähnlich denjenigen in den Fig. 5A–5F für den Fall, daß ein Strom durch die Haltespule mit einer im voraus festgelegten Zeitverzögerung fließt;

Fig. 7A, 7B eine vertikale Schnittansicht eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils bzw. eine schematische Darstellung der Verdrahtung einer das Kraftstoffeinspritzventil verwendenden Kraftstoffeinspritzvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführung der Erfindung;

Fig. 8A–8F Änderungen der Spannung und des Stroms in einer Steuerspule und in einer Haltespule, die einem von einer Motorsteuereinrichtung der zweiten Ausführung der Erfindung ausgegebenen Einspritzsignal entsprechen;

Fig. 9A, 9B eine vertikale Schnittansicht eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils bzw. eine schematische Darstellung der Verdrahtung einer das Kraftstoffeinspritzventil verwendenden Kraftstoffeinspritzvorrichtung gemäß einer dritten Ausführung der Erfindung;

Fig. 10A–10H Änderungen der Spannung und des Stroms in einer Steuerspule (+), einer Steuerspule (–) und einer Haltespule, die einem von einer Motorsteuereinrichtung gemäß der dritten Ausführung der Erfindung ausgegebenen Einspritzsignal entsprechen;

Fig. 11 eine Darstellung von Beispielen kombinierter Kräfte zur Verwirklichung einer vierten Ausführung der Erfindung;

Fig. 12A, 12B eine vertikale Schnittansicht eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils bzw. eine schematische Darstellung der Verdrahtung einer das Kraftstoffeinspritzventil verwendenden elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzvorrichtung (mit einer Spule) gemäß der vierten Ausführung der Erfindung;

Fig. 13A, 13B eine vertikale Schnittansicht eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils bzw. eine schematische

sche Darstellung der Verdrahtung einer das Kraftstoffeinspritzventil verwendenden elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzvorrichtung (mit zwei Spulen) gemäß der vierten Ausführung der Erfindung;

Fig. 14 die Beziehung zwischen der Zeitbreite eines Einspritzanforderungssignals und der Einspritzmenge bei Verwendung einer Spulenstromperiode T_p , während der der Strom durch die Steuerspule fließt;

Fig. 15 Betriebszustände der Kraftstoffeinspritzvorrichtung, in denen die Spulenstromperiode T_c bei normalem Kraftstoffdruck und normaler Batteriespannung optimal eingestellt ist, wenn ein normaler Kraftstoffdruck und eine normale Batteriespannung, ein hoher Kraftstoffdruck bzw. eine abgesenkte Batteriespannung vorliegen;

Fig. 16A–16C die Wirkungen auf den Spulenstrom und auf die magnetische Anziehungskraft, die durch Verlängern der bei normalem Kraftstoffdruck und normaler Batteriespannung optimal eingestellten Spulenstromperiode T_c verursacht werden;

Fig. 17 einen schematischen Blockschaltplan eines Beispiels eines Steuersystems für die Spulenstromperiode T_c für eine Steuerspule gemäß der Erfindung;

Fig. 18A–18D Beispiele für ein Übertragungsverfahren zum Senden von integrierten Signalinformationen bezüglich der Kraftstoffeinspritzanforderungs-Zeitbreite T_f , des Zeitpunkts T_c zum Unterbrechen des durch die Steuerspule fließenden Stroms und einer Periode, während der durch die Steuerspule und durch die Haltespule ein Strom in Rückwärtsrichtung fließt;

Fig. 19 Betriebszustände der Kraftstoffeinspritzvorrichtung für den Fall einer verlängerten Periode T_c , so daß das Ventil, das bei hohem Kraftstoffdruck oder abgesenkter Batteriespannung in dem in Fig. 15 gezeigten Fall einer festen Periode T_p nicht geöffnet werden kann, geöffnet werden kann; und

Fig. 20 einen schematischen Blockschaltplan zur Erläuterung des Gesamtaufbaus des Verbrennungsmotors gemäß einer Ausführung der Erfindung.

Zunächst wird mit Bezug auf Fig. 20 der Gesamtaufbau eines Verbrennungsmotors gemäß einer Ausführung der Erfindung erläutert. Von einem Kraftstofftank 9 wird Kraftstoff mittels einer Kraftstoffförderpumpe 4 an eine Kraftstoffpumpe 9 gefördert. Ferner wird der Kraftstoff mit Druck beaufschlagt und über ein Rückschlagventil an ein Kraftstoffeinspritzventil 10 gefördert. Eine Motorsteuereinrichtung 1 steuert einen Druckregler 5 und die Kraftstoffpumpe 3 auf der Grundlage des von einem Kraftstoffdrucksensor 7 erfaßten Kraftstoffdrucks, so daß der Kraftstoffdruck auf einen Wert eingestellt wird, der im voraus entsprechend dem Betriebszustand eines Fahrzeugs festgelegt worden ist. Die Motorsteuereinrichtung 1 bestimmt einen Einspritzzeitpunkt und eine Einspritzmenge und schickt ein Einspritzsignal an eine Kraftstoffeinspritzventil-Steuerschaltung 100 (die im folgenden als Einspritzsteuerschaltung bezeichnet wird). Das elektromagnetische Einspritzventil 10 spritzt als Antwort auf das geschickte Einspritzsignal Kraftstoff ein. In dieser Ausführung ist das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil 10 im oberen Teil eines Motorblocks 6 zusammen mit einer Zündkerze 6g vorgesehen, um Kraftstoff direkt in einen Zylinder 6a einzuspritzen. Darüber hinaus sind im oberen Teil des Zylinders 6a ein Luftansaugrohr 6c, ein Lufteinlaßventil 6d, ein Abgasrohr 6e und ein Auslaßventil 6f vorgesehen. Im Zylinder 6a werden entsprechend der Bewegung eines Kolbens 6e ein Luftansaugprozeß und ein Abgasausstoßprozeß sowie ein Prozeß zur Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemischs ausgeführt. Ferner überwacht die Motorsteuereinrichtung 1 die Spannung einer Batterie 2 unter Verwendung eines Span-

nungsdetektors 8.

Nun werden mit Bezug auf die Fig. 1A und 1B ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil sowie eine das Kraftstoffeinspritzventil gemäß einer ersten Ausführung der Erfindung verwendende Kraftstoffeinspritzvorrichtung erläutert. Fig. 1A ist eine vertikale Schnittansicht des elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils (im folgenden als Einspritzeinrichtung bezeichnet), das in Fig. 20 gezeigt ist, während Fig. 1B eine schematische Darstellung der Verdrahtung in der Kraftstoffeinspritzvorrichtung (Einspritzeinrichtung 10 und Einspritzsteuerschaltung 100) ist.

Zunächst wird unter Verwendung von Fig. 1A der Aufbau der Einspritzeinrichtung erläutert.

Die Einspritzeinrichtung 10, an die mit Druck beaufschlagter Kraftstoff von der Kraftstoffpumpe 3 gefördert wird, führt eine Kraftstoffeinspritzung von einer Kraftstoffeinspritzbohrung 190 durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs zwischen einem als Ventilelement dienenden Kugelventil 16 und einer Sitzfläche (Ventilsitzfläche) 19, die auf Seiten eines Jochgehäuses 14 ausgebildet ist, aus. Das Kugelventil 16 ist am vorderen Ende eines Kolbens 15 befestigt, ferner ist in der Nähe der Sitzfläche 19 eine Verwirbelungseinrichtung 17 vorgesehen, die den Kraftstoff in feine Tröpfchen zerstäubt.

Es sind eine Steuerspule 11 und eine Haltespule 12 vorgesehen, die eine Kraft erzeugen, mit der das Kugelventil 16 in der Einspritzeinrichtung 10 angetrieben wird. Wenn durch diese Spulen ein Strom fließt, wird ein magnetischer Fluß erzeugt, der durch einen magnetischen Pfad in einem Magnetkreis verläuft, der durch einen Kern 13, ein Joch 14 und den Kolben 15 gebildet ist. Somit wird zwischen dem Kolben 15 einerseits und dem Kern 13 sowie dem Joch 14 andererseits eine magnetische Anziehungskraft erzeugt. Durch die erzeugte magnetische Anziehungskraft wird der Kolben 15 zusammen mit dem Kugelventil 16 in einer Richtung bewegt, in der das Kugelventil 16 von der Sitzfläche 19 abgehoben wird, so daß Kraftstoff in den Zylinder 6a eingespritzt wird. Darüber hinaus ist in der Einspritzeinrichtung 10 eine Rückstellfeder 18 eines Federelements vorgesehen, die das Ventil 10 durch Pressen des Kugelventils 16 gegen die Sitzfläche 19 schließt, wenn die magnetische Anziehungskraft, die durch die Steuerspule 11 und durch die Haltespule 12 erzeugt wird, nicht ausgeübt wird.

Zwei Anschlüsse der Steuerspule 11 bzw. der Haltespule 12 sind miteinander verbunden und werden als B-Anschluß verwendet. Der andere Anschluß der Steuerspule 11 und der andere Anschluß der Haltespule 12 werden als C- bzw. als H-Anschluß verwendet. Ferner sind ein Wicklungsweg jeder Spule und die Verdrahtung zwischen den Spulen 11 und 12 und der Batterie 2 so festgelegt, daß, wenn ein positiver Anschluß der Batterie 2 mit dem B-Anschluß verbunden ist und ein negativer Anschluß der Batterie 2 mit dem C-Anschluß und dem H-Anschluß verbunden ist, in der Steuerspule 11 und in der Haltespule 12 Magnetflüsse erzeugt werden, die die gleiche Richtung besitzen (eine Richtung, in der sich der magnetische Fluß durch die Steuerspule 11 und der magnetische Fluß durch die Haltespule 12 gegenseitig verstärken).

Nun wird mit Bezug auf Fig. 1B die Einspritzsteuerschaltung 100 erläutert. Was die Einspritzeinrichtung 10 betrifft, so sind in Fig. 1B nur der Kern 13, die Steuerspule 11 und die Haltespule 12 gezeigt.

An die Einspritzsteuerschaltung 100 wird von der Batterie 2 eine Batteriespannung angelegt, wobei die Steuerschaltung 100 den durch die Steuerspule 11 und durch die Haltespule 12 fließenden Strom auf der Grundlage eines von der Motorsteuereinrichtung 1 geschickten Einspritzsignals steuert. In der Einspritzsteuerschaltung 100 sind eine Transistor-

EIN/AUS-Schaltung 104 für die Haltespule 12 sowie eine Transistor-EIN/AUS-Schaltung 114 für die Steuerspule 11 vorgesehen, die den Strom durch die Haltespule 12 bzw. durch die Steuerspule 11 steuern. Die Transistor-EIN/AUS-Schaltungen 104 und 114 besitzen gemeinsam Informationen bezüglich des durch die Spulen 12 bzw. 11 fließenden Stroms, die unter Verwendung eines Haltespulenstrom-Erfassungswiderstandes 103 bzw. eines Steuerspulenstrom-Erfassungswiderstandes 113 erfaßt werden, und geben Spulenstrom-Steuersignale als Antwort auf Ausgangssignale von einer Signalverarbeitungsschaltung 120, die diese anhand des von der Motorsteuereinrichtung 1 geschickten Einspritzsignals und der gemeinsamen Strominformationen erzeugt, in einen Leistungstransistor 102 für die Haltespule 12 bzw. in einen Leistungstransistor 112 für die Steuerspule 11 ein. Falls sowohl der Leistungstransistor 102 für die Haltespule 12 als auch der Leistungstransistor 112 für die Steuerspule 11 auf Durchlaß geschaltet sind, wird die Batteriespannung von der Batterie 2 an die Haltespule 12 und an die Steuerspule 11 angelegt. Die Bezugszeichen 101 und 111 bezeichnen den äquivalenten internen Widerstand der Haltespule 12 und ihrer Treiberschaltung bzw. den äquivalenten internen Widerstand der Steuerspule 11 und ihrer Treiberschaltung.

Die Steuerspule 11 und die Haltespule 12 besitzen unterschiedliche elektromagnetische Eigenschaften. Der Grund hierfür besteht darin, daß die Spulen 11 und 12 in jeder der Betriebsphasen des Ventilschließens, des Ventilöffnens, des Offenhaltens des Ventils und des erneuten Ventilschließens unterschiedliche Rollen spielen. In der ersten Ausführungsform wird die Steuerspule 11 ausschließlich in einer Anfangsperiode des Ventilöffnens verwendet, während die Haltespule 12 während der Ventiloffenhalteperiode verwendet wird. Im folgenden werden Operationen jeder Spule beschrieben.

Die elektromagnetischen Eigenschaften, die für die Spulen 11 und 12 während der Ventilöffnungsoperationen erforderlich sind, sind die folgenden.

Da die Preßlast der Rückstellfeder 18 und der Druck des mit Druck beaufschlagten Kraftstoffs an das Kugelventil 16 angelegt werden, müssen die Spulen 11 und 12 während des Ventilöffnungsbetriebs eine größere elektromagnetische Anziehungskraft als während der Ventiloffenhalteperiode erzeugen. Wenn daher die von den Spulen 11 und 12 erzeugte elektromagnetische Anziehungskraft über die Summe aus der Preßlast der Feder 18 und dem Kraftstoffdruck erhöht wird, bewegt sich der Kolben 15. Da somit die Anstiegszeit der elektromagnetischen Anziehungskraft die Verzögerung bei der Öffnung des Ventils bestimmt, muß die Anstiegszeit so kurz wie möglich sein.

Fig. 2A zeigt die Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen N (T) und der erhaltenen magnetomotorischen Kraft U (AT) bei Verwendung des internen Widerstandes als Parametervariable, wobei die erhaltene magnetomotorische Kraft ein während einer kurzen Zeit Δt nach Anlegen der Batteriespannung von der Batterie an die Spule erhaltener Kraftwert ist, wobei Δt angenähert gleich der halben Verzögerung der Ventilöffnung in einer gewöhnlichen Einspritzeinrichtung für einen Direkteinspritzmotor ist (normalerweise 0,1–0,5 ms). Ferner zeigt

Fig. 2B die Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen N (T) und dem erhaltenen Spulenstrom I (A) bei Verwendung des internen Widerstandes als Parametervariable, wobei die erhaltene magnetomotorische Kraft ein Kraftwert ist, der während einer kurzen Zeit Δt nach Anlegen der Batteriespannung von der Batterie an die Spule erhalten wird.

Die magnetomotorische Kraft wird ausgedrückt durch den Wert $U (= N \cdot I)$, der durch Multiplizieren der Anzahl

der Spulenwindungen N (T) mit einem durch die Spule fließenden Strom I (A) erhalten wird und dazu verwendet werden kann, die elektromagnetische Anziehungskraft zu bewerten, die während der kurzen Zeit Δt erhalten werden kann. Falls der interne Widerstand null ist, nehmen eine Induktivitätskomponente und eine Widerstandskomponente ab, so daß durch die Spule ein großer Strom fließt, wenn die Anzahl der Spulenwindungen abnimmt. Folglich steigt die elektromagnetische Anziehungskraft, die während der kurzen Zeit Δt erhalten werden kann, an. Der Grund hierfür besteht darin, daß, obwohl die magnetomotorische Kraft abnimmt, wenn die Anzahl der Spulenwindungen abnimmt, die Wirkungen eines Stromanstiegs aufgrund der Abnahme der Induktivität der Spule im Vergleich zur Abnahme der magnetomotorischen Kraft bei einer Abnahme der Anzahl der Spulenwindungen zunehmen, da die Induktivität der Spule zum Quadrat der Anzahl N der Spulenwindungen proportional ist. Das heißt, um eine große elektromagnetische Kraft durch Anlegen einer niedrigen Spannung wie etwa der Batteriespannung an die Spule zu erhalten, ist es im Hinblick auf die Verbesserung des Antwortverhaltens des Ventilöffnens zweckmäßiger, die magnetomotorische Kraft durch Erhöhen des Spulenstroms anstatt der Anzahl der Spulenwindungen zu erhöhen. Da jedoch jede Treiberschaltung tatsächlich einen internen Widerstand besitzt, ist der Maximalwert der erhaltenen magnetomotorischen Kraft wie in Fig. 2A gezeigt begrenzt, so daß die optimale Anzahl von Spulenwindungen entsprechend dem internen Widerstand der Treiberschaltung unterschiedlich ist.

Ferner wird die Impedanz des Stromflusses nicht nur durch den Widerstand und die Induktivität der Spulen in der Einspritzeinrichtung, sondern auch durch den internen Widerstand in der Steuerschaltung, durch den Widerstand in Schaltvorrichtungen und durch die Abnahme der Batteriespannung beeinflusst. Daher müssen der interne Widerstand in der Steuerschaltung und der Widerstand in den Schaltvorrichtungen soweit wie möglich reduziert werden, ferner muß die Abnahme der Batteriespannung auf einen möglichst kleinen Wert gedrückt werden.

Auf der Grundlage der in Fig. 2A gezeigten elektromagnetischen Eigenschaften einer Spule sind eine Spule, die hauptsächlich für die anfängliche Ventilöffnung verwendet wird, d. h. die Steuerspule 11 dieser Ausführung, und der Leistungstransistor 112 folgendermaßen beschaffen. Zunächst wird als Draht für die Steuerspule 11 ein Draht mit großem Durchmesser verwendet. Ferner wird durch Verwendung eines Bipolartransistors, eines CMOS-Transistors oder eines Bi-CMOS-Transistors für den Leistungstransistor 112 der Einschaltwiderstand des Leistungstransistors 112 in einem Stromflußzustand reduziert, darüber hinaus wird der äquivalente interne Widerstand 111 reduziert. Ferner wird die Anzahl der Windungen der Steuerspule 11 entsprechend dem Wert des internen Widerstandes 111, der durch den obenerwähnten Aufbau festgelegt ist, angenähert als ein Wert bestimmt, mit dem die maximale magnetomotorische Kraft erhalten werden kann. Wenn beispielsweise angenommen wird, daß der interne Widerstand der Treiberschaltung $0,2 \Omega$ beträgt, ist es günstig, die Anzahl der Windungen auf 30 T (Windungen) zu setzen.

Falls ein Draht mit kleinerem spezifischen Widerstand verwendet werden kann, kann selbstverständlich der Durchmesser des für die Steuerspule 11 verwendeten Drahts verringert werden.

Wenn eine Steuerspule 11 mit der wie oben beschrieben bestimmten Windungszahl verwendet wird, kann eine Steuerspule 11 verwirklicht werden, deren zeitliche Änderungsrate der magnetomotorischen Kraft groß ist, d. h., deren Anstiegsansprechverhalten ausgezeichnet ist. Somit

kann mit diesem verwirklichten ausgezeichneten Ansprechverhalten die während des Öffnens des Ventils verstreichende Zeit reduziert werden.

Im folgenden werden die elektromagnetischen Eigenschaften beschrieben, die für die Haltespule 12 während der Ventiloffenhalteperiode erforderlich sind.

Fig. 3A zeigt eine Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen $N(T)$ und der erhaltenen magnetomotorischen Kraft $U(AT)$ bei Verwendung des internen Widerstandes einer Treiberschaltung als Parametervariable, wobei die erhaltene magnetomotorische Kraft ein Kraftwert ist, der während einer definierten Zeit T_h nach Anlegen der Batteriespannung von einer Batterie an die Spule erhalten wird, wobei T_h die Standardzeitbreite einer Ventilöffnungsanforderung für eine normale Einspritzeinrichtung für einen Direkt einspritzungs motor ist (normalerweise ungefähr 1 ms). Ferner zeigt Fig. 3B die Beziehung zwischen der Anzahl der Spulenwindungen $N(T)$ und dem erhaltenen Spulenstrom $I(A)$, wobei der interne Widerstand einer Treiberschaltung als Parametervariable verwendet wird, wobei der Spulenstrom ein Stromwert ist, der für die definierte Zeit T_h nach Anlegen der Batteriespannung von der Batterie an die Spule erhalten wird.

Normalerweise kann der Zustand mit geöffnetem Ventil mit einer kleineren magnetomotorischen Kraft als diejenige, die bei einer Ventilöffnungsoperation erforderlich ist, gehalten werden. Der Grund hierfür besteht darin, daß, da nach dem Öffnen des Ventils Kraftstoff eingespritzt wird, der Druck vor und hinter dem Kugelventil 16 im wesentlichen gleich ist und die Preßkraft aufgrund des Kraftstoffdrucks abnimmt; darüber hinaus nimmt die magnetische Flußdichte im Luftspalt zwischen dem Kolben 15, dem Kern 13 und dem Joch 14 zu, da der Luftspalt abnimmt, so daß die erzeugte magnetomotorische Kraft effektiv genutzt werden kann. Ferner nimmt bei Ventilschließoperationen die während der Ventiloffenhalteperiode erzeugte magnetomotorische Kraft aufgrund der Unterbrechung der an die Haltespule 12 angelegten Spannung ab, so daß die elektromagnetische Kraft abnimmt. Wenn ferner die elektromagnetische Kraft unter die Preßlast der Rückstellfeder 18 abnimmt, beginnt das Ventil eine Schließbewegung. Falls die während der Ventiloffenhalteperiode erzeugte magnetomotorische Kraft zu groß ist, bewirkt sie beim Schließen des Ventils eine größere Verzögerung. Daher ist es notwendig, das Ventil während der Ventiloffenhalteperiode mit einer niedrigen magnetomotorischen Kraft in der Umgebung des Grenzwertes, der zum Offenhalten des Ventils erforderlich ist, zu halten.

Wenn beispielsweise angenommen wird, daß die während der Ventiloffenhalteperiode erforderliche magnetomotorische Kraft 300 AT beträgt, wird die magnetomotorische Kraft dann, wenn die Windungsanzahl der Haltespule 12 mehr als 10 T und weniger als 200 T beträgt und der interne Widerstand in der Treiberschaltung $0,4 \Omega$ ist, viel größer als die notwendige magnetomotorische Kraft. Wie in Fig. 3B gezeigt ist, bewirkt, da der Spulenstrom weit über 20 Ampère liegt, falls die Windungsanzahl geringer als 10 T ist, eine Fortsetzung dieses Spulenstroms durch die Haltespule 12 während der Ventiloffenhalteperiode ein Durchbrennen der Spule 12. Daher ist eine Windungsanzahl von weniger als 10 T unpraktisch. Falls andererseits die Windungsanzahl größer als 200 T ist, wird die Verzögerung bei der Ventilschließung groß, da der durch die Haltespule 12 fließende Strom wegen der großen Induktivität selbst dann nicht schnell abnimmt, wenn die an die Haltespule 12 angelegte Spannung unterbrochen wird.

Wie in Fig. 3A gezeigt ist, beträgt die magnetomotorische Kraft, die der Windungsanzahl von ungefähr 10 T ent-

spricht, 300 AT, falls der interne Widerstand der Treiberschaltung ungefähr 4Ω beträgt. Weiterhin fließt bei dieser Kombination aus einer Windungsanzahl 10 und einem internen Widerstand von 4Ω ein Strom von ungefähr 3 Ampère durch die Haltespule 12, wobei dieser Stromwert vernünftig ist. Auf der Grundlage der in den Fig. 3A und 3B gezeigten Spuleneigenschaften sind eine Spule, die hauptsächlich während der Ventiloffenhalteperiode verwendet wird, also in dieser Ausführung die Haltespule 12, sowie der Leistungstransistor 102 folgendermaßen aufgebaut. Zunächst ist es nicht notwendig, für den Draht, aus dem die Haltespule 12 gebildet ist, einen Draht mit besonders kleinem Durchmesser zu verwenden, vielmehr muß der Durchmesser des Drahts lediglich so gewählt werden, daß er Vorrang gegenüber einem Raumfaktor in der Einspritzeinrichtung, der für die Haltespule 12 erforderlich ist, besitzt. Ferner ist es notwendig, insbesondere den Einschaltwiderstand des Leistungstransistors 102 zu reduzieren, wobei, falls die Summe aus dem Einschaltwiderstand und dem Widerstand der Haltespule 12 nicht ausreicht, zum Widerstand der Haltespule ein Strombegrenzungswiderstand hinzugefügt wird. Ferner wird die Windungsanzahl, die zum Halten eines Zustandes mit geöffnetem Ventil erforderlich ist, entsprechend dem Widerstand der Haltespule 12 bestimmt, der seinerseits wie oben beschrieben bestimmt wird. Durch Bestimmen der Windungsanzahl der Haltespule 12 wie oben beschrieben ist es möglich, eine Haltespule 12 aufzubauen, bei der die zeitliche Änderungsrate der magnetomotorischen Kraft während des Ventilöffnungsbetriebs kleiner als diejenige der Steuerspule 11 ist. Dadurch kann der durch die Haltespule 12 während der Ventiloffenhalteperiode fließende Strom reduziert werden, ferner kann die während des Schließens des Ventils verstreichende Zeit reduziert werden.

Das heißt, während der Ventiloffenhalteperiode ist es wünschenswert, die Stromsättigungscharakteristik einer Spule auszunutzen, die in einem Sättigungsverfahren genutzt wird, bei dem eine Stromsteuerschaltung nicht erforderlich ist. Da in dieser Spule die Windungsanzahl groß ist, ist der zum Offenhalten des Ventils verbrauchte Strom gering.

Da wie oben beschrieben die elektromagnetischen Eigenschaften, die für eine Spule für die Ventilöffnungsoperation erforderlich sind, im Gegensatz zu jenen stehen, die für eine Spule zum Offenhalten des Ventils erforderlich sind, ist es sehr schwierig, eine Spule und die zugehörige Treiberschaltung zu verwirklichen, die die beiden oben erläuterten Typen von elektromagnetischen Eigenschaften erfüllen. Es könnte als Möglichkeit angesehen werden, eine solche Spule und die zugehörige Treiberschaltung durch Anlegen einer Hochspannung an eine Spule mit geringer Windungsanzahl und durch Steuern der Spule unter Verwendung eines komplizierten Stromsteuerverfahrens zu verwirklichen. Dieser Lösungsversuch ist jedoch unmöglich, falls eine niedrige Spannung wie etwa die Batteriespannung verwendet werden soll, so daß es notwendig ist, die Spule durch eine einfache und billige Steuerschaltung zu steuern.

In dieser Ausführung wird als Steuerspule 11 eine Spule mit den elektromagnetischen Eigenschaften verwendet, die für Ventilöffnungsoperationen erforderlich sind; für die Haltespule wird jedoch eine Spule mit elektromagnetischen Eigenschaften verwendet, die während der Ventiloffenhalteperiode erforderlich sind. Dadurch kann durch einfaches Umschalten des Stromflusses zwischen der Steuerspule 11 und der Haltespule 12 in jeder der Phasen des Kraftstoffeinspritzbetriebs ein nahezu ideales Betriebsverhalten für das Kraftstoffeinspritzventil verwirklicht werden.

Bei der Anordnung der Steuerspule 11 und der Haltespule 12 am Kern 13 und am Joch 14 ist es ferner wünschenswert,

die Steuerspule 11 näher am Kolben 15 anzuordnen. Der Grund hierfür besteht darin, daß es, da die maximale Dichte des magnetischen Flusses in der Nähe einer Spule in dem aus dem Kern 13, dem Joch 14 und dem Kolben 15 gebildeten Magnetkreis auftritt, wirksamer ist, die Steuerspule 11, in die in einer Anfangsperiode des Ventilöffnungsbetriebs ein großer Strom schnell eingegeben wird, in der Nähe des Kolbens 15 anzuordnen.

Im folgenden wird ein Verfahren zum Antreiben der Einspritzeinrichtung 10 mit der Einspritzsteuerschaltung 100 gemäß der ersten Ausführung erläutert. Das Antriebsverfahren, das im folgenden erläutert wird, ist für einen normalen Betriebszustand ohne Abnahme der Spulentreiberspannung, ohne Anstieg des Widerstandes aufgrund eines Anstiegs der Spulentemperatur, ohne Anstieg der Druckkraft auf das Ventilelement, die durch eine Erhöhung des Kraftstoffdrucks hervorgerufen wird, und dergleichen, vorgesehen. Ferner ist dieses Ansteuerungsverfahren unter den Bedingungen, daß eine Steuerung mit konstantem Kraftstoffdruck ausgeführt wird und als Spannungstreiberverfahren ein Spannungserhöhungsverfahren verwendet wird und ferner die Spulen mit geringer Spannungsstörung angesteuert werden, ausreichend wirksam.

Die Fig. 4A-4F zeigen Änderungen der Spannung und des Stroms in der Steuerspule 11 und in der Haltespule 12, die einem von der Motorsteuereinrichtung 1 gemäß der ersten Ausführung der Erfindung ausgegebenen Einspritzsignal entsprechen.

Falls das Einspritzsignal in die Einspritzsteuerschaltung 100 eingegeben wird, werden von der Einspritzsteuerschaltung 100 ein Steuerspulen-Steuersignal und ein Haltespulen-Steuersignal ausgegeben. Ferner werden der Leistungstransistor 112 für die Steuerspule 11 und der Leistungstransistor 102 für die Haltespule 12 auf Durchlaß geschaltet, weiterhin wird die Spannung von der Batterie 2 an die Steuerspule 11 und an die Haltespule 12 angelegt. Somit fließt durch die Steuerspule 11 und durch die Haltespule 12 ein Strom, wodurch ein magnetischer Fluß erzeugt wird.

Da die zeitliche Änderungsrate der magnetomotorischen Kraft in der Steuerspule wie oben erwähnt groß ist, steigt ein durch die Steuerspule 11 fließender Strom schneller als der durch die Haltespule 12 fließende Strom an. Da darüber hinaus durch beide Spulen ein Strom fließt, kann während der Anfangsperiode des Ventilöffnungsbetriebs eine große magnetomotorische Kraft erhalten werden. Da die in Ventilöffnungsrichtung erzeugte magnetische Anziehungskraft auf den Kolben 15 in einer frühen Periode wirkt und das Intervall zwischen dem Beginn des Anlegens der Spannung an die Spulen und dem Zeitpunkt, zu dem die magnetische Anziehungskraft die Summe aus dem Kraftstoffdruck und der festgesetzten Last der Rückstellfeder 18 übersteigt, reduziert wird, wird die Zeitverzögerung bei der Ventilöffnung reduziert.

Da wie oben erwähnt in der Steuerschaltung 11 die zeitliche Änderungsrate der magnetomotorischen Kraft groß ist und ihr interner Widerstand klein ist, kann bei fortgesetztem Stromfluß durch die Steuerspule 11 nach dem Öffnen des Ventils durch die Spule 11 ein Überstrom fließen, so daß es möglich ist, daß die Spule 11 durchbrennt. Da ferner die magnetische Anziehungskraft nicht höher als erforderlich zu sein braucht und eine höhere magnetische Anziehungskraft eine größere Verzögerung beim Schließen des Ventils hervorrufen würde, wenn das Ventil aus dem Zustand mit geöffnetem Ventil wieder geschlossen werden soll, sollte der durch die Steuerspule 11 fließende Strom unterbrochen werden.

Für die Bestimmung des Zeitpunkts zum Unterbrechen des Stroms zählt die Signalverarbeitungsschaltung 120 die

Zeit, die seit dem Beginn des Ventilöffnungsvorgangs verstrichen ist, wobei die Schaltung 120 dann, wenn die verstrichene Zeit eine im voraus festgelegte Zeit T_p erreicht, an den Leistungstransistor 112 für die Steuerspule 11 ein AUS-Signal schickt. Falls andererseits der durch die Steuerspule 11 fließende Strom, der am Steuerstrom-Erfassungswiderstand 113 als Spannungsabfall erfaßt wird, einen im voraus festgelegten Stromwert I_{max} erreicht, schickt die Schaltung 120 an den Leistungstransistor 112 für die Steuerspule 11 ebenfalls ein AUS-Signal. Darüber hinaus ist es möglich, den Strom durch die Steuerspule 11 dadurch zu unterbrechen, daß dem von der Motorsteuereinrichtung 1 ausgegebenen Einspritzsignal ein Stromunterbrechungszeit-Befehlssignal hinzugefügt wird und daß das modifizierte Einspritzsignal an die Signalverarbeitungsschaltung 100 geschickt wird, die das geschickte modifizierte Einspritzsignal weiter verarbeitet und zum ermittelten Stromunterbrechungszeitpunkt ein AUS-Signal aus gibt.

Wie später erläutert wird, wird im Hinblick auf eine Berücksichtigung von Störungen wie etwa einer Abnahme der Spulentreiberspannung, einer Zunahme des internen Widerstands aufgrund eines Anstiegs der Spulentemperatur sowie einer Zunahme der Preßkraft auf das Ventilelement aufgrund eines Anstiegs des Kraftstoffdrucks und dergleichen das zuletzt genannte Stromunterbrechungszeit-Bestimmungsverfahren verwendet.

Andererseits wird der Stromfluß in die Haltespule 12 fortgesetzt. Da der gesamte interne Widerstand der Haltespule 12 und ihrer Steuerschaltung groß ist, wie oben erläutert worden ist, wird der durch die Haltespule 12 fließende Strom begrenzt, so daß nur der zum Halten des Zustandes mit geöffnetem Ventil notwendige und ausreichende Strom in die Haltespule 12 fließt. Dadurch ist es möglich, für die Haltespule 12 eine kleine magnetomotorische Kraft zu setzen, da der größte Teil der zum Öffnen des Ventils erforderlichen magnetomotorischen Kraft in der Anfangsperiode des Ventilöffnungsbetriebs durch die Steuerspule 11 erzeugt wird.

Das Anlegen der Spannung an die Haltespule 12 wird an der Absteigeflanke des von der Motorsteuereinrichtung 1 ausgegebenen Einspritzsignals unterbrochen. Da nur ein notwendiger und ausreichender Strom durch die Haltespule 12 fließt, nimmt der Strom schnell ab, so daß auch der auf den Kolben 15 wirkende magnetische Fluß schnell abnimmt, wodurch die Verzögerung beim Schließen des Ventils reduziert werden kann.

Da in dieser Ausführung zwei Arten von Spulen, wovon jede eine elektromagnetische Charakteristik besitzt, die in der entsprechenden Ventilöffnungsbetrieb-Phase erforderlich ist, verwendet werden, kann eine im wesentlichen ideale Anfangs- und Endleistung des Ventilbetriebs verwirklicht werden, ohne daß an die Spulen eine hohe Spannung angelegt wird oder daß eine komplizierte Steuerschaltung erforderlich ist. Ferner ist es möglich, einen breiten dynamischen Bereich für die Einspritzeinrichtung zu erzielen, was eine hohe Leistung der Einspritzeinrichtung bedeutet.

Um den dynamischen Bereich zu erweitern, muß die minimale Einspritzmenge soweit wie möglich abgesenkt werden. Die Einspritzmenge wird durch die EIN-Zeitbreite des Einspritzsignals gesteuert, die auf eine kurze Breite reduziert werden muß, um die minimale Einspritzmenge zu erzeugen. Obwohl eine Verzögerung beim Öffnen oder Schließen des Ventils soweit reduziert werden sollte, daß sie der kurzen EIN-Zeitbreite entspricht, treten, falls die erste Ausführung auf den Ventilbetrieb mit einem Einspritzsignal mit sehr kurzer EIN-Zeitbreite angewendet wird, möglicherweise die in den Fig. 5A-5F gezeigten Phänomene auf.

Obwohl der Stromfluß durch die Steuerspule 11 zum Zeit-

punkt T_p unterbrochen wird, wird der Stromfluß durch die Haltespule 12 über den Zeitpunkt T_p hinaus fortgesetzt, bis das Einspritzsignal endet, was einer Ventilschließanforderung gleichkommt. Da bei Beginn des Ventilschließvorgangs der magnetische Fluß sehr schnell abfällt, wenn der durch jede der Spulen 11 und 12 fließende Strom abnimmt, ist ein niedrigerer durch die Spulen 11 und 12 fließender Strom zur Reduzierung der Verzögerung beim Schließen des Ventils wirksamer. Da die Abnahmerate der magnetomotorischen Kraft in der Haltespule 12 kleiner als in der Steuerspule ist, ist es insbesondere wünschenswert, den durch die Haltespule 12 fließenden Strom so niedrig wie möglich einzustellen, damit er die Minimalanforderung erfüllt.

Das oben erwähnte Ziel der Erweiterung des dynamischen Bereichs kann durch Einstellen der elektromagnetischen Eigenschaften der Steuerspule 11 und durch Verwenden eines Verfahrens zur Steuerung des Stroms durch die Haltespule, wovon ein Beispiel in den Fig. 6A–6F gezeigt ist, erreicht werden.

Die elektromagnetischen Eigenschaften der Haltespule 12 werden in der Weise bestimmt, daß die Summe aus der magnetomotorischen Kraft der Steuerspule 11 und derjenigen der Haltespule 12, die kurze Zeit nach Anlegen der Spannung an die Steuerspule 11 erhalten werden, ausreicht, um das Ventil zu öffnen. Wie in den Fig. 6D–6F gezeigt ist, ist es nicht notwendig, den Stromfluß durch die Haltespule 12 gleichzeitig mit der Eingabe des Einspritzsignals zu beginnen, statt dessen ist es ausreichend, den Beginn des Stromflusses durch die Haltespule 12 um T_{dh} zu verzögern, wodurch der Pegel des Gesamtstroms, der erreicht wird, bis der durch die Steuerspule 11 fließende Strom abzunehmen beginnt, im Vergleich zu dem Fall, in dem der Strom durch die Haltespule 12 gleichzeitig mit der Eingabe des Einspritzsignals beginnt, reduziert werden kann. Wie oben erwähnt worden ist, kann durch Verzögern des Beginns des Stromflusses durch die Haltespule 12 der Pegel des Gesamtstroms bei der Abstiegsflanke des Einspritzsignals reduziert werden, mit anderen Worten, der Pegel des Gesamtstroms kann zu dem Zeitpunkt, zu dem das Schließen des Ventils erforderlich ist, gesenkt werden. Dadurch kann eine Verzögerung beim Schließen des Ventils reduziert werden.

Im folgenden wird eine zweite Ausführung der Erfindung erläutert. Fig. 7A zeigt eine vertikale Querschnittsansicht einer Einspritzeinrichtung 20 gemäß der zweiten Ausführung der Erfindung, während Fig. 7B einen schematischen Blockschaltplan der Verdrahtung für die Einspritzeinrichtung 20 und für die Einspritzsteuerschaltung 200 zum Steuern der Einspritzeinrichtung 20 zeigt.

In der Einspritzeinrichtung 20 gemäß der zweiten Ausführung und in der Einspritzeinrichtung 10 gemäß der ersten Ausführung ist die Verdrahtung nur geringfügig verschieden, ferner sind die elektromagnetischen Eigenschaften der Steuerspule und der Haltespule gleich. Daher ist die Leistung der Einspritzeinrichtung 20 derjenigen der Einspritzeinrichtung 10 gemäß der ersten Ausführung ähnlich.

Ein Anschluß und ein weiterer Anschluß der Steuerspule 11 sind mit C₊ bzw. C₋ bezeichnet, während ein Anschluß und ein weiterer Anschluß der Haltespule 12 mit H₊ bzw. H₋ bezeichnet sind. Ferner sind die Wicklungsrichtung jeder Spule und die Verdrahtung zwischen den Spulen 11 und 12 und der Batterie 2 in der Weise festgelegt, daß, falls ein positiver Anschluß der Batterie 2 mit jedem der (+)-Anschlüsse der Spulen verbunden ist und ein negativer Anschluß der Batterie 2 mit jedem der (-)-Anschlüsse der Spulen verbunden ist, der magnetische Fluß, der in der Steuerspule 11 und in der Haltespule 12 erzeugt wird, die gleiche Richtung besitzt.

Nun wird Fig. 7B erläutert. Von der Einspritzeinrichtung

20 sind nur ein Kern 23, eine Steuerspule 21 und eine Haltespule 22 gezeigt.

An die Einspritzsteuerschaltung 200 wird von der Batterie 2 eine Batteriespannung angelegt, wobei die Steuerschaltung 200 den durch die Steuerspule 21 und durch die Haltespule 22 fließenden Strom anhand eines von der Motorsteuereinrichtung 1 geschickten Einspritzsignals steuert. In der Einspritzsteuerschaltung 200 sind Transistor-EIN/AUS-Schaltungen 222–225 für die Haltespule 22 und Transistor-EIN/AUS-Schaltungen 232–235 für die Steuerspule 12 vorgesehen, um den durch die Steuerspule 11 bzw. durch die Haltespule 12 fließenden Strom zu steuern. Jede Transistor-EIN/AUS-Schaltung besitzt die gleichen Informationen bezüglich des durch die Spule 12 und bezüglich des durch die Spule 11 fließenden Stroms, die unter Verwendung eines Haltespulenstrom-Erfassungswiderstandes 241 bzw. eines Steuerspulenstrom-Erfassungswiderstandes 242 erfaßt werden. Ferner gibt jede Transistor-EIN/AUS-Schaltung in einen entsprechenden der Leistungstransistoren 202–205 für die Haltespule 22 und in einen entsprechenden der Leistungstransistoren 212–215 für die Steuerspule 21 als Antwort auf jedes Ausgangssignal von einer Signalverarbeitungsschaltung 220, das anhand des von der Motorsteuereinrichtung 1 geschickten Einspritzsignals und der gemeinsamen Strominformationen erzeugt wird, ein Spulenstrom-Steuersignal ein (zur Veranschaulichung ist die Verdrahtung zwischen den Stromerfassungswiderständen, den Transistor-EIN/AUS-Schaltungen und der Signalverarbeitungsschaltung 220 weggelassen).

Durch Verwendung der oben erwähnten Schaltung und der oben erwähnten Verdrahtung ist es möglich, irgendeine der Spannungen in Ventilöffnungsrichtung und die entgegengesetzte Spannung in der zur Ventilöffnungsrichtung entgegengesetzten Richtung entweder an die Steuerspule 21 oder an die Haltespule 22 anzulegen. Was die Haltespule 22 betrifft, so ist, falls die Leistungstransistoren 202 und 205 für die Haltespule 22 auf Durchlaß geschaltet werden, der H₊-Anschluß mit dem positiven Anschluß der Batterie 2 verbunden, während der H₋-Anschluß mit dem negativen Anschluß der Batterie 2 verbunden ist. Folglich fließt ein Strom vom H₊-Anschluß zum H₋-Anschluß. Falls hingegen die Leistungstransistoren 203 und 204 für die Haltespule 22 auf Durchlaß geschaltet werden, ist der H₋-Anschluß mit dem negativen Anschluß der Batterie 2 verbunden, während der H₊-Anschluß mit dem positiven Anschluß der Batterie 2 verbunden ist. Dadurch fließt ein Strom in der zum ersten Fall entgegengesetzten Richtung.

Die Steuerung der Stromflußrichtung durch die Steuerspule 21 kann ähnlich wie die obige Steuerung der Stromflußrichtung durch die Haltespule 22 ausgeführt werden.

Wenn ein Strom vom H₊-Anschluß zum H₋-Anschluß fließt und wenn die Leistungstransistoren 203 und 204 für die Haltespule 22 sperren, wird die inverse Spannung, die den Strom zwangsläufig absenkt, an die Haltespule 22 angelegt. Eine ähnliche Operation wie die obige für die Haltespule 22 kann auch für die Steuerspule 21 ausgeführt werden. Durch Verwenden der Einspritzsteuerschaltung 200 gemäß der zweiten Ausführung der Erfindung kann der in die Steuerspule 21 und in die Haltespule 22 fließende Strom schnell abgesenkt werden, indem an jede dieser Spulen die inverse Spannung angelegt wird, die außerdem den in jeder Spule erzeugten magnetischen Fluß schnell absenkt. Somit ist die Ausführung in bezug auf die Reduzierung einer Verzögerung beim Schließen des Ventils sehr wirksam.

Die Steuerspule 21 und die Haltespule 22 sind vom Kern 23 und vom Joch 24 umgeben. Die den Kolben 15 anziehende magnetische Anziehungskraft wird durch den magnetischen Fluß erzeugt, der durch einen magnetischen Pfad in

einem Magnetkreis verläuft, der aus dem Kern 23, dem Joch 24 und dem Kolben 25 aufgebaut ist. Falls die (+)-Anschlüsse der Spulen 21 und 22 an den positiven Anschluß der Batterie 2 angeschlossen sind und die (-)-Anschlüsse der Spulen 21 und 22 an den negativen Anschluß der Batterie 2 angeschlossen sind, wird in den Spulen 21 und 22 ein magnetischer Fluß in derselben Richtung erzeugt, so daß sich der in der Steuerspule 21 erzeugte magnetische Fluß und der in der Haltespule 22 erzeugte magnetische Fluß gegenseitig verstärken.

Falls andererseits beispielsweise der (-)-Anschluß der Spule 21 an den positiven Anschluß der Batterie 2 angeschlossen ist und der (+)-Anschluß der Spule 22 an den negativen Anschluß der Batterie 2 angeschlossen ist, besitzt der in der Steuerspule 21 erzeugte magnetische Fluß eine Richtung, die zu derjenigen des in der Haltespule 22 erzeugten Flusses entgegengesetzt ist, so daß der durch die Haltespule 22 erzeugte magnetische Fluß abgeschwächt wird.

Um beispielsweise die von der Haltespule 22 erzeugte elektromagnetische Kraft als Antwort auf eine Ventilschließanforderung schnell abzusinken, wird der gesamte magnetische Fluß durch Anlegen der inversen Spannung an die Steuerspule 21 für die Erzeugung eines magnetischen Flusses in der entgegengesetzten Richtung schnell abgesenkt. Dieses Verfahren ist besonders wirksam, um die Verzögerung beim Schließen des Ventils zu reduzieren.

Im folgenden wird mit Bezug auf die Fig. 8A-8F ein Verfahren zum Ansteuern der Einspritzeinrichtung 20 und der Einspritzsteuerschaltung 200, auf die das obenerwähnte Stromsteuerverfahren angewendet wird, erläutert.

Die Fig. 8A-8F zeigen Betriebszustände der Steuerspule 21 und der Haltespule 22 entsprechend dem von der Motorsteuereinrichtung 1 ausgegebenen Einspritzsignal. Wenn das Einspritzsignal in die Einspritzsteuerschaltung 200 eingegeben wird, steuert die Einspritzsteuerschaltung 200 die Transistor-EIN/AUS-Schaltungen 222-225 für die Haltespule 22 sowie die Transistor-EIN/AUS-Schaltungen 232-235 für die Steuerspule 21, so daß der Strom durch die Spulen 21 und 22 fließt, wodurch in beiden Spulen 21 und 22 ein magnetischer Fluß in der gleichen Richtung erzeugt wird. In diesem Fall sind die Leistungstransistoren 202, 205, 212 und 215 auf Durchlaß geschaltet.

Der durch die Steuerspule 21 fließende Strom wird durch Versetzen der Leistungstransistoren 212 und 215 für die Steuerspule 21 in den gesperrten Zustand anhand eines im voraus festgelegten Werts von I_{\max} oder von T_p ähnlich wie in der ersten Ausführung unterbrochen. Obwohl die Leistungstransistoren 212 und 215 für die Steuerspule 21 durch die Transistor-EIN/AUS-Schaltungen für die Steuerspule 21 in diesem Beispiel in den gesperrten Zustand versetzt werden, ist es auch möglich, daß die Motorsteuereinrichtung 1 diese Leistungstransistoren direkt in den gesperrten Zustand versetzt.

In der zweiten Ausführung werden die Leistungstransistoren 213 und 214 für die Steuerspule 21 während einer kurzen Zeitperiode T_{oc} auf Durchlaß geschaltet, wie in Fig. 8B gezeigt ist. Folglich wird an die Steuerspule 21 eine Spannung angelegt, die einen Stromfluß in einer Richtung erzeugt, die zur Richtung des Stroms entgegengesetzt ist, die der Strom vor Beginn dieser Zeitperiode hatte, so daß der durch die Steuerspule 21 fließende Strom schnell absinkt. Durch geeignetes Setzen der Breite von T_{oc} kann der durch die Steuerspule 21 fließende Strom auf 0 gehalten werden. Es ist möglich, T_{oc} als Antwort auf ein von der Motorsteuereinrichtung 1 ausgegebenes Befehlssignal zu ändern.

Die Leistungstransistoren 203 und 204 für die Haltespule 22 werden bei der Abstiegflanke des Einspritzsignals, d. h.

bei der Ventilschließanforderung, für eine kurze Zeitperiode T_{oh} gleichzeitig mit dem Versetzen der Leistungstransistoren 202 und 205 für die Haltespule 22 in den gesperrten Zustand in den Durchlaßzustand versetzt, um während der Periode T_{oh} die inverse Spannung anzulegen. Dadurch fällt der durch die Haltespule 22 fließende Strom schnell ab. Da ferner zu diesem Zeitpunkt durch die Steuerspule 21 kein Strom fließt, beginnt, falls die Leistungstransistoren 213 und 214 für die Steuerspule 21 während der kurzen Zeitperiode T_{ohc} auf Durchlaß geschaltet werden, sofort ein Strom in die Steuerspule in einer Richtung zu fließen, die zu derjenigen während des Ventilöffnungsbetriebs entgegengesetzt ist, so daß ein magnetischer Fluß in entgegengesetzter Richtung erzeugt wird. Somit kann der gesamte magnetische Fluß sofort abgesenkt werden, wodurch die Verzögerung beim Schließen des Ventils erheblich reduziert werden kann.

Falls die Breite des Einspritzsignals kurz und angenähert gleich T_p ist, werden die inverse Spannung, die T_{oc} entspricht, und die inverse Spannung, die T_{ohc} entspricht, an die Steuerspule 21 zweimal angelegt, wobei sie überlappen. Folglich wird äquivalent die inverse Spannung einmal an die Steuerspule 21 angelegt. Auch in diesem Fall kann die Verzögerung beim Schließen des Ventils reduziert werden, indem die Zeitperiode, in der die inverse Spannung einmal an die Steuerspule angelegt wird, als Zeitperiode ($T_{oc} + T_{ohc}$) gesetzt wird, um den durch die Steuerspule 21 und durch die Haltespule 22 fließenden Strom schnell auf 0 abzusinken, oder indem die Periode, während der die inverse Spannung angelegt wird, in der Weise eingestellt wird, daß der inverse Strom durch die Steuerspule 21 zu fließen beginnt, bevor der durch die Haltespule 22 fließende Strom absinkt.

Obwohl in der zweiten Ausführung der Erfindung das Anlegen der inversen Spannung an die Spulen 21 und 22 auf der Grundlage des im voraus gesetzten Zeitintervalls gesteuert wird, kann das Anlegen der inversen Spannung auch auf der Grundlage von Informationen bezüglich des in die Spulen 21 und 22 fließenden Stroms gesteuert werden, die unter Verwendung des Haltespulenstrom-Erfassungswiderstandes 241 und des Steuerspulenstrom-Erfassungswiderstandes 242 erfaßt werden. Das heißt, daß auf der Grundlage der Strominformationen die inverse Spannung an die Steuerspule 21 angelegt wird, bis der durch die Steuerspule 21 fließende Strom auf 0 absinkt, die inverse Spannung an die Haltespule 22 angelegt wird, bis der durch die Haltespule 22 fließende Strom auf 0 absinkt, oder die inverse Spannung an die Steuerspule 21 angelegt wird, bis der durch die Haltespule 22 fließende Strom auf 0 absinkt. Obwohl ferner in der zweiten Ausführung die inverse Spannung sowohl an die Spule 21 als auch an die Spule 22 angelegt wird, kann die inverse Spannung auch entweder an die Spule 21 oder an die Spule 22 angelegt werden.

Im folgenden wird eine dritte Ausführung gemäß der Erfindung mit Bezug auf die Fig. 9A und 9B erläutert. Fig. 9A zeigt eine vertikale Querschnittsansicht einer Einspritzeinrichtung 30 gemäß der dritten Ausführung, während Fig. 9B eine schematische Darstellung der Verdrahtung der Einspritzeinrichtung 30 und einer Einspritzsteuerschaltung 300 zeigt.

In der Einspritzeinrichtung 30 der dritten Ausführung sind eine Steuerspule (+) 11 und eine Haltespule 12 ähnlich wie in der ersten Ausführung vorgesehen, ferner ist diesen Spulen eine Steuerspule (-) 31 hinzugefügt. Somit sind insgesamt drei Spulen vorgesehen. Da in dieser Ausführung zwei Steuerspulen vorhanden sind, werden diese beiden Steuerspulen durch die Schreibweise (+) und (-) unterschieden. Die Steuerspule (-) 31 besitzt ähnlich wie die Steuerspule (+) 11 die elektromagnetische Eigenschaft einer zeit-

lich hohen Änderungsrate der magnetomotorischen Kraft.

Ähnlich wie in der ersten Ausführung sind an der Steuerspule (+) 11 und der Haltespule 12 Anschlüsse B, H und C, (entspricht dem C-Anschluß der ersten Ausführung) vorgesehen. Ein Anschluß der Steuerspule (-) 31 ist an den B-Anschluß elektrisch angeschlossen, während der andere Anschluß der Steuerspule (-) 31 an den C-Anschluß angeschlossen ist. Der Spulenwindungsweg und die Verdrahtung sind so festgelegt, daß, wenn der B-Anschluß an den negativen Anschluß der Batterie 2 angeschlossen ist und die C-, H- und C-Anschlüsse an den positiven Anschluß der Batterie 2 angeschlossen sind, der magnetische Fluß der Steuerspule (-) 31 in einer Richtung erzeugt wird, die zu derjenigen des in der Steuerspule (+) 11 und in der Haltespule 12 erzeugten magnetischen Flusses entgegengesetzt ist.

Der Aufbau der Einspritzeinrichtung 30 und der Einspritzsteuerschaltung 300 wird nun mit Bezug auf Fig. 9B erläutert. In Fig. 9B sind von der Einspritzeinrichtung 30 nur der Kern 13 und die Steuerspule (+) 11, die Steuerspule (-) 31 sowie die Haltespule 12, die um den Kern 13 gewickelt sind, gezeigt. Die Verdrahtung für die Steuerspule (+) 11 und für die Haltespule 12 ist ähnlich derjenigen der ersten Ausführung. Teile des Aufbaus, die von dem Aufbau der ersten Ausführung verschieden sind, werden im folgenden erläutert.

Die Spannung von der Batterie 2 wird an die Einspritzsteuerschaltung 300 geliefert, welche den durch die Steuerspule (-) 31 und die Spulen 11 und 12 fließenden Strom steuert. Die Einspritzsteuerschaltung 300, eine Transistor-EIN/AUS-Schaltung 314 für die Steuerspule (-) 31 und ein Widerstand 311, der den äquivalenten internen Widerstand der Steuerspule (-) 31 und ihrer Treiberschaltung darstellt, sind zur Einspritzsteuerschaltung 100 gemäß der ersten Ausführung hinzugefügt. Die jeweiligen Transistor-EIN/AUS-Schaltungen 104, 114 und 314 besitzen gemeinsame Informationen bezüglich des Stroms durch die jeweiligen Spulen, die von Spulenstrom-Erfassungswiderständen 103, 113 und 313 erfaßt werden. Die Transistor-EIN/AUS-Schaltung 314 für die Steuerspule (-) 31 schickt anhand der gemeinsamen Informationen bezüglich des Stroms und eines Ausgangssignals von einer Signalverarbeitungsschaltung, das als Antwort auf das von der Motorsteuereinrichtung 1 geschickte Einspritzsignal erzeugt wird, ein Steuersignal für den Strom durch die Spule (-) 31.

In der Einspritzsteuerschaltung 300 schickt die Signalverarbeitungsschaltung 120 im Vergleich zu der Einspritzsteuerschaltung 100 gemäß der ersten Ausführung ein weiteres Steuersignal an die Transistor-EIN/AUS-Schaltung 314. Falls der Leistungstransistor 312 für die Steuerspule (-) 31 auf Durchlaß geschaltet wird, wird die Spannung von der Batterie 2 an die Steuerspule (-) 31 angelegt.

Auch in dieser Ausführung ist es in bezug auf die Anordnung der Spulen 11, 12 und 31, des Kerns 13 und des Jochs 14 wünschenswert, die Steuerspule (+) 11 näher am Kolben 15 anzuordnen. Der Grund hierfür ist der gleiche wie in der ersten Ausführung. Ebenso ist es vorteilhaft, die Steuerspule (-) 31 näher am Kolben 15 anzuordnen. Somit wird die den Kolben 15 anziehende magnetische Kraft durch den magnetischen Fluß erzeugt, der durch den magnetischen Pfad in dem aus dem Kern 13, dem Joch 14 und dem Kolben 15 aufgebauten magnetischen Kreis verläuft.

Ein Verfahren zum Ansteuern der Einspritzeinrichtung 30 und der Einspritzsteuerschaltung 300, für das der obige Aufbau verwendet wird, wird im folgenden mit Bezug auf die Fig. 10A-10H erläutert.

Die Fig. 10A-10H zeigen Betriebszustände der Steuerspule (+) 11, der Steuerspule (-) 31 und der Haltespule 12 entsprechend dem von der Motorsteuereinrichtung 1 ausge-

gebenen Einspritzsignal.

Von der ersten Ausführungsform abweichende Aspekte werden im folgenden beschrieben. Nachdem der Stromfluß durch die Steuerspule (+) 11 und durch die Haltespule 12 unterbrochen worden ist, wird der Leistungstransistor 312 für die Steuerspule (-) 31 während zweier kurzer Zeitperioden Toc (-) und Tohc (-) zweimal eingeschaltet, so daß die Spannung von der Batterie 2 an die Steuerspule (-) 31 während zweier kurzer Zeitperioden angelegt wird. Dadurch fließt durch die Steuerspule (-) 31 ein Strom, so daß ein magnetischer Fluß in einer Richtung erzeugt wird, die zu derjenigen des in der Steuerspule (+) 11 und in der Haltespule 12 erzeugten magnetischen Flusses entgegengesetzt ist (in den Fig. 10A-10H entspricht die Richtung des durch jede der Spulen fließenden Stroms der Richtung des in der jeweiligen Spule erzeugten magnetischen Flusses). Mit dem obigen Aufbau und dem beschriebenen Ansteuerungsverfahren kann der durch den magnetischen Kreis verlaufende magnetische Fluß schnell auf 0 abgesenkt werden, wodurch die Verzögerung beim Schließen des Ventils stark reduziert werden kann.

Falls die Breite des Einspritzsignals kurz und angenähert gleich T_p ist, überlappen möglicherweise die inversen Spannungssignale, die an die Steuerspule (-) 31 zweimal angelegt werden (und Toc (-) bzw. Tohc (-) entsprechen), was äquivalent damit ist, daß die inverse Spannung einmal an die Steuerspule (-) 31 angelegt wird. Auch in diesem Fall kann die Verzögerung beim Schließen des Ventils stark reduziert werden, indem die Periode, während der die inverse Spannung einmal an die Steuerspule angelegt wird, beispielsweise auf die Zeitperiode (Toc (-) + Tohc (-)) gesetzt wird, so daß der gesamte magnetische Fluß durch den magnetischen Kreis schnell auf 0 abnimmt.

Wie oben beschrieben worden ist, ist es bei der dritten Ausführung möglich, einen schnellen Anstieg und einen schnellen Abfall beim Öffnen bzw. Schließen des Ventils zu verwirklichen, darüber hinaus kann ein breiter dynamischer Bereich der Einspritzeinrichtung 30 geschaffen werden, der ein grundlegendes Leistungsbewertungskriterium der Einspritzeinrichtung 30 ist, indem zwei entsprechende Spulen verwendet werden, die elektromagnetische Eigenschaften besitzen, die für die jeweiligen Betriebsphasen des Öffnens und Offenhaltens des Ventils geeignet sind, und indem ferner die dritte Spule in der Betriebsphase des Schließens des Ventils dazu verwendet wird, den durch den magnetischen Kreis verlaufenden gesamten magnetischen Fluß schnell abzusenken, ohne daß eine hohe Spannung oder ein kompliziertes Steuerverfahren erforderlich sind.

Im folgenden wird eine vierte Ausführung der Erfindung erläutert. Die vierte Ausführung wird durch Modifikation der zweiten Ausführung und der dritten Ausführung erhalten.

Falls es möglich ist, den größten Teil der magnetischen Anziehungskraft, die zum Öffnen des Ventils erforderlich ist, und die gesamte magnetische Anziehungskraft, die zum Schließen des Ventils erforderlich ist, einzusparen, indem nur die Steuerspule 11 verwendet wird, kann das Ventil selbst dann geöffnet oder geschlossen werden, wenn der zum Halten des Ventiloffenhaltezustands notwendige magnetische Fluß stets durch die Haltespule 12 erzeugt wird, d. h. wenn durch die Haltespule 12 im Zustand mit geöffnetem Ventil und im Zustand mit geschlossenem Ventil ununterbrochen ein Strom fließt. In dem obigen Betriebsverfahren ist es selbstverständlich im Ventiloffenhaltezustand und im Ventilschließzustand notwendig, die kombinierte Kraft aus der durch den in der Haltespule 11 erzeugten magnetischen Fluß erzeugten magnetischen Anziehungskraft und der Preßkraft des Kraftstoffdrucks sowie der Last der Rück-

stellfeder 18 im Ventilschließzustand, in dem der Abstand zwischen dem Kolben 15 und dem Kern 13, d. h. der Luftspalt, maximal ist, negativ (in Ventilschließrichtung) zu setzen und im Zustand mit geöffnetem Ventil, in dem der Luftspalt minimal wird, positiv (in Ventilöffnungsrichtung) zu setzen. Die Vorbelastungskomponente der kombinierten Kraft kann durch geeignetes Setzen der Last der Rückstellfeder 18 eingestellt werden. Durch Verwendung des obenbeschriebenen Betriebsverfahrens kann ein Betriebszustand der Einspritzeinrichtung 10, in dem entweder ein geöffneter Ventilzustand oder ein geschlossener Ventilzustand gehalten werden kann, wenn keine durch die Steuerspule 11 erzeugte magnetische Anziehungskraft vorhanden ist, verwirklicht werden.

In der vierten Ausführung der Erfindung wird der magnetische Fluß, dessen Stärke wie oben beschrieben gesetzt wird, in der Haltespule 12 ununterbrochen erzeugt. Das heißt, während der Strom ununterbrochen durch die Haltespule 12 fließt, werden Ventilöffnungsoperationen durch Erzeugung des magnetischen Flusses in der Steuerspule 11 in der gleichen Richtung, in der der magnetische Fluß in der Haltespule 12 erzeugt wird, beschleunigt, während Ventilschließoperationen durch Erzeugung eines inversen magnetischen Flusses, der durch Anlegen der inversen Spannung an die Steuerspule 11 oder durch Verwenden einer Spule, deren elektromagnetische Eigenschaften zu denjenigen der Steuerspule 11 entgegengesetzt sind, beschleunigt werden. Falls in diesem Verfahren die Windungsanzahl und der interne Widerstand der Haltespule 12 groß sind, kann der magnetische Fluß bei niedrigem Stromverbrauch in der Haltespule 12 fortgesetzt erzeugt werden. Ferner können die Leistungstransistoren zum Umschalten der Haltespule 12 weggelassen werden.

In einem modifizierten Beispiel der in Fig. 7B gezeigten zweiten Ausführung sind die Leistungstransistoren 202, 203, 204 und 205, die Transistor-EIN/AUS-Schaltungen 222, 223, 224 und 225 sowie der Stromerfassungswiderstand 241 nicht notwendig, ferner ist der H.-Anschluß direkt mit dem positiven Anschluß der Batterie 2 verbunden, während der H.-Anschluß geerdet ist.

In dem modifizierten Beispiel der in Fig. 9B gezeigten dritten Ausführung sind der Leistungstristor 102, die Transistor-EIN/AUS-Schaltung 104 und der Stromerfassungswiderstand 103 nicht notwendig, ferner ist der B.-Anschluß direkt an den positiven Anschluß der Batterie 2 angeschlossen, während der H.-Anschluß geerdet ist. Bei Übernahme des jeweiligen obigen Aufbaus der Kraftstoffeinspritzvorrichtung können die Herstellungskosten der Kraftstoffeinspritzvorrichtung gesenkt werden.

In der vierten Ausführung der Erfindung kann statt der Haltespule 12 ein Permanentmagnet verwendet werden. Wie in Fig. 11 gezeigt ist, kann die vierte Ausführung ohne Haltespule 12 verwirklicht werden, wenn der magnetische Fluß des Permanentmagneten so gesetzt ist, daß die kombinierte Kraft aus der durch den durch den Permanentmagneten erzeugten magnetischen Fluß erzeugten magnetischen Anziehungskraft und aus der Preßkraft des Kraftstoffdrucks sowie aus der Last der Rückstellfeder 18 im Zustand mit geschlossenem Ventil, in dem der Abstand zwischen dem Kolben 15 und dem Kern, d. h. der Luftspalt, maximal wird, negativ ist (in Ventilschließrichtung) und die kombinierte Kraft im Zustand mit geöffnetem Ventil, in dem der Luftspalt minimal wird, positiv (in Ventilöffnungsrichtung) ist.

In den Fig. 12A und 12B sowie 13A und 13B sind zwei Beispiele gezeigt, in denen der obige Aufbau auf die zweite bzw. auf die dritte Ausführung angewendet wird. Die Bezugszeichen 42 und 52 in den Fig. 12A und 13A bezeichnen einen ringförmigen Permanentmagneten, der einen magne-

tischen Fluß in der gleichen Richtung wie die Richtung des magnetischen Flusses erzeugt, der durch die Steuerspule 41 oder durch die Steuerspule (+) 51 im Ventilöffnungsbetrieb erzeugt wird. Bei Verwendung dieses Aufbaus können die Schaltungen zum Ansteuern der jeweiligen Haltespulen weggelassen werden, wie in den Fig. 12B und 13B gezeigt ist, so daß der von diesen Schaltungen verbrauchte Strom 0 ist, weshalb sowohl die Herstellungskosten als auch die Betriebskosten der Kraftstoffeinspritzeinrichtung reduziert werden können.

In den ersten bis vierten Ausführungen der Erfindung wird der Zeitpunkt zum Unterbrechen des durch die Steuerspule fließenden Stroms anhand der im voraus festgelegten Zeitperiode T_p oder des im voraus festgelegten Pegels I_{\max} unter normalen Betriebsbedingungen bestimmt. Hierbei wird T_p folgendermaßen bestimmt.

Fig. 14 zeigt die Beziehung zwischen der Zeitbreite eines Einspritzanforderungssignals, das von der Motorsteuereinrichtung 1 ausgegeben wird, und einer Einspritzmenge, wobei die Zeitperiode T_p , während der der Strom durch die Steuerspule fließt, als Parametervariable verwendet wird. Die Linearität der Einspritzeinrichtung bedeutet eine Linearität der Beziehung zwischen der Zeitbreite des Einspritzanforderungssignals und der Einspritzmenge, ferner ist der dynamische Bereich der Einspritzeinrichtung als Verhältnis der maximalen Einspritzmenge zur minimalen Einspritzmenge definiert und kann im Linearitätsbereich erzielt werden. Im allgemeinen ist es schwierig, die Linearität während der kurzen Zeitbreite eines Einspritzanforderungssignals beizubehalten. Der Grund hierfür besteht darin, daß bei der kurzen Zeitbreite die Ventiloffenhalteperiode, während der die Kraftstoffeinspritzung am stabilsten erfolgt, in einem Einspritzzyklus, der aus einer Ventilöffnungsphase, einer Ventilöffnungshaltephase und einer Ventilschließphase besteht, verhältnismäßig kurz ist, so daß die Kraftstoffeinspritzung zu Instabilitäten neigt. In einer herkömmlichen Einspritzeinrichtung ist es sehr schwierig gewesen, die Betriebsleistung während der kurzen Zeitbreite eines Einspritzanforderungssignals zu verbessern. Durch Verwendung der Einspritzeinrichtung gemäß der Erfindung wird die Einspritzleistung in der in Fig. 14 gezeigten Beziehung eine konvexe Kurve, da die Spule in einen Steuerspulenteil und einen Haltespulenteil unterteilt ist, wobei T_p ohne Beeinflussung der Haltespule (während der Ventiloffenhalteperiode) erhöht wird. Falls hingegen T_p ohne Beeinflussung der Haltespule reduziert wird, wird die Einspritzleistung in der in Fig. 14 gezeigten Beziehung eine konkave Kurve. Dadurch ist es möglich, die Einspritzleistung der Einspritzeinrichtung bei niedriger Einspritzmenge ohne weiteres optimal einzustellen (Beibehaltung der Linearität). Auch in dem I_{\max} verwendenden Steuerverfahren wird die Einspritzleistung in der in Fig. 14 gezeigten Beziehung eine konvexe Kurve, da die Spule in einen Steuerspulenteil und einen Haltespulenteil unterteilt ist, sofern I_{\max} ohne Beeinflussung der Haltespule erhöht wird (während der Ventiloffenhalteperiode). Falls I_{\max} ohne Beeinflussung der Haltespule erniedrigt wird, wird die Einspritzleistung in der in Fig. 14 gezeigten Beziehung eine konkave Kurve. Daher ist es auch mit dem auf I_{\max} basierenden Spulenstrom-Steuerverfahren möglich, die Einspritzleistung der Einspritzeinrichtung ohne weiteres optimal einzustellen.

Obwohl die Einspritzleistung in jeder der obenerwähnten Ausführungen optimal eingestellt werden kann, ist es wünschenswert, T_p variabel zu setzen, um auf Störungen wie etwa eine Abnahme der Treiberspannung und eine Zunahme der Preßkraft auf das Ventilelement aufgrund eines erhöhten Kraftstoffdrucks reagieren zu können. Im folgenden wird der Zeitpunkt zum Unterbrechen eines in die Steuerspule

fließenden Stroms mit T_c bezeichnet. T_c wird grundsätzlich entsprechend einem Befehl, der von der Motorsteuereinrichtung 1 geschickt wird, geändert. Falls der Kraftstoffdruck durch den Druckregler 5, an den ein Anforderungssignal zur Erhöhung des Kraftstoffdrucks bei einem hohen Lastzustand des Motors 6 geschickt wird, schnell erhöht wird oder falls die Spannung der Batterie 2 beim Anlassen des Motors 6 in einem kalten Gebiet stark absinkt, ist es wichtig, daß eher die notwendige elektromagnetische Anziehungskraft als die optimale Einspritzleistung sichergestellt ist.

Fig. 15 zeigt Betriebszustände der Kraftstoffeinspritzvorrichtung, in denen der Zeitpunkt T_c zum Unterbrechen des Spulenstroms bei normalem Kraftstoffdruck und bei normaler Batteriespannung sowie bei hohem Kraftstoffdruck und bei abgesenkter Batteriespannung optimal eingestellt ist.

Die Stromsignalformen, die kombinierte Kraft, die Ventilverschiebung und die Einspritzmenge werden im folgenden mit Bezug auf die Graphen erläutert, die die normalen Betriebszustände unter den Bedingungen eines normalen Kraftstoffdrucks und einer normalen Treiberspannung zeigen.

Zunächst werden die Stromsignalformen erläutert. Im vorliegenden Beispiel ist T_c auf ungefähr 0,3 ms gesetzt, während die Breite eines Einspritzanforderungssignals auf 1 ms gesetzt ist. Der durch die Steuerspule fließende Strom wird nach 0,3 ms unterbrochen, während der durch die Haltespule fließende Strom bis 1 ms fortgesetzt wird. Da die Steuerspule eine geringere Windungszahl und einen geringeren internen Widerstand als die Haltespule besitzt, steigt der durch die Steuerspule fließende Strom schnell an. Diese schnelle Anstiege des Stroms trägt zu einem schnellen Anstieg der elektromagnetischen Anziehungskraft, die von der Steuerspule erzeugt wird, bei, wie aus der folgenden Erläuterung der kombinierten Kraft hervorgeht.

In einem Graphen, der Änderungen der kombinierten Kraft zeigt, bedeutet "+" die Ventilöffnungsrichtung, während "-" die Ventilschließrichtung bedeutet. Nachdem der durch die Steuerspule fließende Strom bei T_c unterbrochen worden ist, sinkt die Anziehungskraft schnell ab. Andererseits steigt die von der Haltespule erzeugte Anziehungskraft schnell an. Die Gesamtanziehungskraft ist die Summe aus beiden Typen von Anziehungskräften und steigt bis zu einer großen Kraft schnell an. In diesem Graphen preßt die Gesamlast aus dem Kraftstoffdruck und der Federkraft das Ventilelement in Ventilschließrichtung, wobei die Differenz zwischen der gesamten Anziehungskraft und der gesamten Last die kombinierte Kraft ist, die den Kolben antreibt. Wenn die kombinierte Kraft negativ ist, wird der Kolben gegen den Ventilsitz gepreßt, wobei das Ventilelement auf dem Ventilsitz aufsitzt. Somit tritt eine Ventilverschiebung nicht auf. Wenn die kombinierte Kraft den Wert 0 übersteigt, beginnt das Ventilelement sich in Ventilöffnungsrichtung zu bewegen. Die Ventilbewegung ist in der nächsten Darstellung für die Ventilverschiebung gezeigt.

Wenn die Ventilverschiebung auftritt und die Kraftstoffeinspritzung beginnt, tritt im wesentlichen ein Druckgleichgewicht vor und nach dem Ventilelement auf, das die Last des Kraftstoffdrucks und der Federkraft etwas reduziert. Vervielfachungseffekte der Abnahme der Last und der Abnahme des Luftspalts zwischen dem Kern und dem Kolben bewirken eine schnelle und vollständige Öffnung des Ventils. Nach der vollständigen Öffnung des Ventils kann der vollständig geöffnete Zustand des Ventils gehalten werden, da die kombinierte Kraft auf der Plusseite bleibt, so daß der Kraftstoff stabil eingespritzt werden kann.

Die Kraftstoffmenge wird durch die Öffnungsfläche des Ventils und die Zeitbreite der Einspritzung bestimmt. Wenn das von der Motorsteuereinrichtung 1 geschickte Einspritz-

anforderungssignal bei 1 ms unterbrochen wird, beginnt die Anziehungskraft abzunehmen. Ferner wandert gleichzeitig die kombinierte Kraft zur Minusseite, so daß eine Verschiebung des Ventils in Ventilschließrichtung beginnt. Da der Spalt zwischen dem Kern und dem Kolben durch die Verschiebung in Ventilschließrichtung des Ventils zunimmt, nimmt die Anziehungskraft weiter ab, wobei die Ventilschließung beschleunigt wird. Wenn sich darüber hinaus das Ventilelement dem Ventilsitz annähert, wird vor und hinter dem Ventilelement eine Kraftstoffdruckdifferenz erzeugt, wodurch die Preßkraft in Ventilschließrichtung erhöht wird. Dadurch wird das Ventil schnell geschlossen, woraufhin die Kraftstoffeinspritzung beendet ist. Die obigen Phänomene treten in einem Kraftstoffeinspritzzyklus, der eine Ventilöffnungsphase, eine Ventilhaltephase und eine Ventilschließphase umfaßt, auf.

Nun wird der Fall eines erhöhten Kraftstoffdrucks beschrieben. Obwohl die Stromsignalformen nahezu die gleichen wie jene unter Normalbedingungen sind (die Signalformen unterscheiden sich von denjenigen unter normalen Bedingungen deswegen, weil keine Ventilverschiebung auftritt) kann das Ventil nicht geöffnet werden, da die Last aus dem Kraftstoffdruck und der Federkraft größer ist und die kombinierte Kraft den Wert 0 nicht übersteigen kann. Da sich das Ventil nicht öffnet, treten darüber hinaus weder eine Absenkung des Spalts s und ein Druckausgleich vor und nach dem Ventilelement auf, so daß die Ventilantriebskraft nicht erhöht wird.

Ähnlich wie im obigen Fall der Kraftstoffdruckerhöhung wird der durch die Steuerdruckerhöhung und die Haltespulen fließende Strom geringer, falls die Spannung der Batterie absinkt. Daher kann die kombinierte Kraft den Wert 0 nicht übersteigen, so daß das Ventil nicht geöffnet werden kann. Es treten ebenfalls weder eine Verkleinerung des Spalts noch ein Druckausgleich auf, so daß die Ventilantriebskraft nicht erhöht wird.

Wie oben erwähnt, ist es bei Verwendung des unter den Bedingungen eines normalen Kraftstoffdrucks und einer normalen Batteriespannung optimal eingestellten Zeitpunkts T_c unmöglich, auf Zustände hohen Kraftstoffdrucks und abgesenkter Batteriespannung zu reagieren. Diese Phänomene sind durch eine unzureichende elektromagnetische Anziehungskraft verursacht. Falls das Ventil um irgendeinen Betrag geöffnet wird, wird die Ventilöffnung durch Reduzierung des Spalts und durch Auftreten des Druckgleichgewichts vor und hinter dem Ventilelement beschleunigt. Daher ist es nicht notwendig, die elektromagnetische Anziehungskraft gegenüber der unter Normalbedingungen erforderlichen Kraft um das zwei- oder dreifache zu erhöhen, vielmehr genügt eine geringe Erhöhung der Anziehungskraft.

In der Einspritzeinrichtung gemäß der Erfindung kann die elektromagnetische Anziehungskraft über den optimalen Wert für Normalbedingungen erhöht werden, indem der Zeitpunkt T_c , der für normalen Kraftstoffdruck und normale Batteriespannung optimal eingestellt ist, hinausgeschoben wird.

Die Fig. 16A-16C zeigen die Wirkungen auf den Spulenstrom und die magnetische Anziehungskraft, die durch Hinausschieben des Spulenstrom-Unterbrechungszeitpunkts T_c , der für normalen Kraftstoffdruck und normale Batteriespannung optimal eingestellt ist, verursacht werden. Fig. 16A zeigt den Fall, in dem die Induktivität der Steuerspule groß ist und der durch die Steuerspule fließende Strom den Maximalwert bei unter normalem Kraftstoffdruck und normaler Batteriespannung optimal eingestelltem T_c ($= T_1$) erreicht. Falls T_c von T_1 nach T_2 hinausgeschoben wird, fließt ein größerer Strom, so daß die elektromagnetische Kraft größer

als im Fall der Festlegung von Tc auf T1 ist.

Daher ist es bei einer Kraftstoffdruckerhöhung wirksam, den bei normalem Kraftstoffdruck und normaler Batteriespannung optimal eingestellten Zeitpunkt Tc hinaus zu schieben. Die obigen Gegenmaßnahmen können in ähnlicher Weise auf den Fall einer abgesenkten Batteriespannung angewendet werden. Somit fließt auch in diesem Fall durch Hinausschieben von Tc gegenüber dem für normalen Kraftstoffdruck und normale Batteriespannung optimal eingestellten Zeitpunkt T1 auf T2 ein größerer Strom, so daß eine größere elektromagnetische Kraft als im Fall der Festlegung von Tc auf T1 erzeugt werden kann.

Im allgemeinen tritt das Problem einer abgesenkten Batteriespannung hauptsächlich beim Anlassen des Motors in einem kalten Gebiet auf. Da jedoch die Kraftstoffpumpe für die Druckbeaufschlagung des Kraftstoffs selbst durch eine Nockenwelle oder einen Motor angetrieben wird, wird direkt nach dem Anlassen des Motors an die Einspritzeinrichtung kein Kraftstoff mit hohem Druck gefördert. Daher sind die oben erwähnten Gegenmaßnahmen ausreichend, um das Problem einer abgesenkten Batteriespannung zu lösen.

Fig. 16B zeigt den Fall, in dem die Induktivität der Steuerspule gering ist und der Strom durch die Steuerspule bereits bei Tc (= T1), der für normalen Kraftstoffdruck und normale Batteriespannung optimal eingestellt ist, den Maximalwert, der durch eine Schaltungskonstante der Steuerspule bestimmt ist, erreicht hat. In diesem Fall tritt ein Anstieg der Größe des Stroms trotz Verschiebung von Tc von T1 nach T2 nicht auf. Hierbei ist jedoch zwischen dem Anstieg des Stroms und dem Anstieg der durch den Strom erzeugten elektromagnetischen Kraft eine Phasenverzögerung vorhanden.

Obwohl daher der Strom bei T1 fast seinen Maximalwert erreicht, erreicht die elektromagnetische Kraft ihren Maximalwert wegen der Phasenverzögerung noch nicht, wie in Fig. 16C gezeigt ist. In Fig. 16C sind Änderungen des durch die Steuerspule fließenden Stroms und der durch den Strom erzeugten elektromagnetischen Kraft gezeigt. In dieser Situation kann durch Hinausschieben von Tc über den für normalen Kraftstoffdruck und normale Batteriespannung optimal eingestellten Zeitpunkt T1 zum Zeitpunkt T2 ein Maximalwert der elektromagnetischen Kraft erhalten werden, der größer als jener ist, der bei Festlegung von Tc auf T1 erhalten wird, so daß die Wahrscheinlichkeit eines Öffnens des Ventils zunimmt.

Falls die Abnahme der Spulentreiberspannung oder die Zunahme der Preßlast auf das Ventilelement, die durch eine Erhöhung des Kraftstoffdrucks verursacht wird, sehr groß sind, ist es auch wirksam, Tc bis zum Ende des Einspritzanforderungssignals zu verschieben, d. h. den Stromfluß sowohl durch die Steuerspule als auch durch die Haltespule während des von der Motorsteuereinrichtung 1 ausgegebenen Einspritzanforderungssignals fortzusetzen. Wie in Fig. 15 gezeigt ist, steigt die von der Haltespule erzeugte Anziehungskraft in einem Betrieb mit normalem Zeitpunkt Tc nicht ausreichend an, wenn der Strom durch die Steuerspule unterbrochen wird. Somit ist es durch Hinausschieben des Zeitpunkts Tc zur Unterbrechung des Stromflusses durch die Steuerspule bis zu einem ausreichenden Anstieg der durch die Haltespule erzeugten Anziehungskraft möglich, eine große Gesamtanziehungskraft zu erhalten, die einer sehr großen Preßlast auf das Ventilelement entspricht.

Zusätzlich zu einem Anstieg des internen Widerstands in den Spulen nehmen bei einem Temperaturanstieg auch der Widerstand der Drähte in der Einspritzsteuerschaltung und der Drähte zwischen der Einspritzeinrichtung und der Einspritzsteuerschaltung zu. Außerdem erhöht eine Altersverschlechterung den Widerstand. Die Erhöhung des Wider-

standes in den Drähten bewirkt eine Absenkung der an die Spulen angelegten Treiberspannung. Diese Absenkung der Treiberspannung, die durch eine Zunahme des Widerstandes in den Drähten hervorgerufen wird, kann durch das Voltmeter 8, das in der Nähe der Batterie 2 vorgesehen ist und die Spannung der Batterie 2 erfassen soll, nicht erfaßt werden. Dieses Problem kann durch Vergleichen des durch die Spulen fließenden Stroms mit der Batteriespannung, der in der Einspritzsteuerschaltung bei Verwendung der Spulenstrom-Erfassungswiderstände und der Signalverarbeitungsschaltung ausgeführt wird, gelöst werden. Das heißt, die Erfassung der Abnahme der Treiberspannung wird anhand der Ergebnisse des Vergleichs, mit dem geschätzt wird, ob der interne Widerstand des gesamten Spulentreibersystems im Vergleich zu den Normalbedingungen derzeit erhöht ist, ermöglicht. Falls festgestellt wird, daß eine Abnahme der Treiberspannung auftritt, steuert die Motorsteuereinrichtung 1 den Zeitpunkt Tc, der auf die normale Spannung optimal eingestellt ist, in der Weise, daß er ähnlich wie bei der oben beschriebenen Batteriespannungsabnahme hinausgeschoben wird.

Fig. 17 zeigt einen Blockschaltplan zur Erläuterung des Aufbaus eines Systems zum Einstellen des Zeitpunkts Tc zur Unterbrechung des Stroms durch die Steuerspule 11. Obwohl in dieser Ausführung ein System für eine zwei Spulen enthaltende Einspritzeinrichtung verwendet wird, kann ein Tc-Einstellsystem für eine drei Spulen enthaltende Einspritzeinrichtung ähnlich wie diese Ausführung verwirklicht sein.

Wie in Fig. 17 gezeigt ist, werden der Kraftstoffdruck Pf, der vom Kraftstoffdrucksensor 7 erfaßt wird, und die Batteriespannung Vb, die vom Voltmeter 8 erfaßt wird, in die Motorsteuereinrichtung 1 eingegeben. Die Motorsteuereinrichtung 1 speichert beispielsweise die Beziehung zwischen der Batteriespannung Vb und dem optimalen Wert für Tc zur Unterbrechung des durch die Steuerspule 11 fließenden Stroms. Ähnlich wird die Beziehung zwischen dem Kraftstoffdruck Pf und dem optimalen Wert für Tc gespeichert.

In Fig. 17 sind die beiden Beziehungen des optimalen Zeitpunkts Tc zum Kraftstoffdruck bzw. zur Batteriespannung gespeichert. Es ist jedoch möglich, ein dreidimensionales Kennfeld zu speichern, das die Beziehung zwischen dem optimalen Zeitpunkt Tc und den beiden Parametern Vb und Pf wiedergibt.

Weiterhin ist es möglich, den optimalen Zeitpunkt Tc als Wert einer Funktion zu erhalten, die von den Variablen Vb und/oder Pf abhängt. Obwohl in Fig. 17 nicht gezeigt, kann darüber hinaus die Temperatur im Motorraum als Parameter verwendet werden.

Wie oben erwähnt worden ist, ist es bei einer Zunahme des Kraftstoffdrucks notwendig, den Zeitpunkt Tc zur Unterbrechung des durch die Steuerspule fließenden Stroms hinauszuschieben. Falls ferner die Batteriespannung abnimmt, ist es notwendig, den Zeitpunkt Tc hinaus zu schieben. Die Motorsteuereinrichtung 1 kann das Auftreten einer dieser Situationen erkennen oder Informationen bezüglich dieser Situationen speichern.

Das Einspritzanforderungssignal Sf und der Zeitpunkt Tc zur Unterbrechung des durch die Steuerspule 11 fließenden Stroms, die durch die Motorsteuereinrichtung 1 bestimmt werden, werden in die Einspritzsteuerschaltung 100 eingegeben. Ferner zählt die Signalverarbeitungsschaltung 120 die bis zum Zeitpunkt Tc verbleibende Zeit und schickt EIN/AUS-Signale an die Transistor-EIN/AUS-Schaltung 114 der Steuerspule 11, um den in die Steuerspule 11 fließenden Strom zu steuern. Dadurch wird die Batteriespannung bis zum Zeitpunkt Tc an die Steuerspule 11 angelegt.

Ferner kann festgestellt werden, ob der interne Wider-

stand des gesamten Spulentreibersystems größer als derjenige unter Normalbedingungen wird, indem der Spulenstrom-Erfassungswiderstand, die Spannung der Batterie 2 und der erfaßte Spulenstrom mittels der Signalverarbeitungsschaltung 120 untersucht werden. Falls festgestellt wird, daß der interne Widerstand zunimmt, wird T_c hinausgeschoben. Die Größe der Hinausschiebung von T_c wird entweder durch die Motorsteuereinrichtung 1 oder durch die Signalverarbeitungsschaltung 120 festgelegt.

Falls bevorzugt wird, die Periode, während der die inverse Spannung an die Steuerspule 11 und/oder an die Haltespule 12 im Ventilschließbetrieb angelegt wird, zu ändern, kann das Anlegen der inversen Spannung in der gleichen Weise wie bei der Steuerung von T_c gesteuert werden.

Im folgenden wird mit Bezug auf die Fig. 18A-18D ein Verfahren erläutert zum Erzeugen und Senden eines Kraftstoffeinspritzanforderungssignals, das von der Motorsteuereinrichtung 1 an die Einspritzsteuerschaltung geliefert wird, um diese Ausführung zu verwirklichen. Obwohl dieses Verfahren mit Bezug auf die in Fig. 1 gezeigte Einspritzsteuerschaltung 100 erläutert wird, ist das Verfahren auch auf andere Ausführungen anwendbar.

In diesem Verfahren enthält das von der Motorsteuereinrichtung 1 an die Einspritzsteuerschaltung 100 ausgegebene Kraftstoffeinspritzanforderungssignal höchstens drei Informationselemente bezüglich der grundlegenden Einspritzanforderungszeitbreite T_f , der Periode T_c , während der die Spulentreiberspannung zum Öffnen des Ventils angelegt wird, und der Periode T_{oc} , während der die inverse Spannung an die Spulen angelegt wird. Falls diese Informationselemente entsprechend übertragen werden, sind drei Sätze von Drähten und Anschlüssen erforderlich, wodurch die Übertragungskapazität und die Herstellungskosten erhöht werden.

Daher wird in diesem Verfahren wie in Fig. 18B gezeigt ein Hybridsignal, in das mehrere Spannungssignale, die an mehrere Spulen geschickt werden, integriert sind, unter Verwendung einer einzigen Leitung übertragen. Das Hybridsignal kann durch die Signalverarbeitungsschaltung 120 in der Einspritzsteuerschaltung 100 ohne weiteres in zwei oder drei Signale zerlegt werden.

Fig. 18C zeigt Beispiele von Hybridsignalen, die zwei Informationselemente bezüglich der grundlegenden Einspritzanforderungszeitbreite T_f und des Zeitpunkts T_c , zu dem die Spulentreiberspannung unterbrochen wird, enthalten, außerdem zeigt Fig. 18D Beispiele von Hybridsignalen, die zwei Informationselemente bezüglich der grundlegenden Einspritzanforderungszeitbreite T_f , des Zeitpunkts T_c zur Unterbrechung der Spulentreiberspannung und der Periode T_{oc} , in der die inverse Spannung angelegt wird, enthalten. Da die Zeiten von $(N - 1)$ Elementen getrennt werden können, wobei N die Anzahl der Anstiegsflanken und Abstiegsflanken ist, die im Hybridsignal auftreten, kann ein Hybridsignal mehrere Zeitelemente übertragen und den durch mehrere Spulen fließenden Strom steuern.

Fig. 19 zeigt die Betriebszustände der Kraftstoffeinspritzvorrichtung im Fall eines hinausgeschobenen Zeitpunkts T_c . Obwohl das Ventil unter den Bedingungen eines hohen Kraftstoffdrucks und einer abgesenkten Batteriespannung bei Verwendung des in Fig. 15 gezeigten festgelegten Zeitpunkts T_c nicht geöffnet werden kann, kann das Ventil geöffnet werden, wenn der Zeitpunkt T_c hinausgeschoben wird. In dem in Fig. 15 gezeigten Fall ist T_c auf 0,3 ms festgelegt, bei dem die beste Linearität der Einspritzleistung verwirklicht werden kann, wenn die Einspritzeinrichtung bei normalem Kraftstoffdruck und normaler Batteriespannung betrieben wird. Andererseits ist es in dem in Fig. 19 gezeigten Fall möglich, das Ventil durch Setzen von T_c auf

0,5 ms zu öffnen. Falls T_c stets auf 0,5 ms gesetzt ist, kann das Ventil sowohl bei normalem Kraftstoffdruck und normaler Batteriespannung als auch bei abgesenkter Batteriespannung geöffnet werden. Da jedoch in diesem Fall bei normalem Kraftstoffdruck und bei normaler Batteriespannung unnötig viel Strom in die Steuerspule geschickt wird, wird der Stromverbrauch unnötig hoch. Darüber hinaus wird die Beschleunigung des Ventilelements unter Normalbedingungen wegen des hinausgeschobenen Zeitpunkts T_c zu groß, so daß das Ventilelement stark an Anschläge und Ränder stößt, wodurch die Linearität des Kraftstoffeinspritzbetrags in bezug auf die Breite des Einspritzimpulssignals verschlechtert wird.

In der Einspritzeinrichtung und der Kraftstoffeinspritzvorrichtung gemäß den obigen Ausführungen wird der Betrieb des Ventils bei normalen Betriebszuständen gesteuert und dabei die Einspritzlinearität sichergestellt, ferner kann bei anomalen Betriebszuständen wie etwa einer abgesenkten Batteriespannung das Ventilelement auf der Grundlage eines geeignet eingestellten Zeitpunkts T_c (0,5 ms) für die Unterbrechung des Stroms durch die Steuerspule, der durch die Motorsteuereinrichtung 1 bestimmt wird, normal betrieben werden. Wenn die Batteriespannung auf den normalen Pegel wiederhergestellt ist, wird T_c automatisch auf den normalen Zeitpunkt von 0,3 ms zurückgestellt.

In der Einspritzeinrichtung und der Einspritzsteuerschaltung gemäß den obigen Ausführungen kann ein breiter dynamischer Bereich der Einspritzeinrichtung verwirklicht werden. Da ferner der durchschnittliche Durchmesser der Kraftstofftröpfchen durch die Verwirbelungseinrichtung in der Einspritzeinrichtung minimiert wird, ist es möglich, die Forderung nach einer gleichmäßigen Kraftstoffverbrennung und einer Schichtladungsverbrennung für einen Direkteinspritzmotor ausreichend zu erfüllen.

Ferner sind die Einspritzeinrichtung und die Einspritzsteuerschaltung gemäß den obigen Ausführungsformen auf andere als Direkteinspritzmotoren anwendbar, beispielsweise auf einen Motor mit Einlaßkanaleinspritzung, ferner kann auch für andere als Direkteinspritzmotoren ein breiter dynamischer Bereich verwirklicht werden. Weiterhin wird der durchschnittliche Durchmesser der Kraftstofftröpfchen durch die Verwirbelungseinrichtung in der Einspritzeinrichtung minimiert, was die Ausgangsleistung des Motors erheblich verbessert und den Kraftstoffverbrauch erheblich senkt.

Gemäß der Erfindung wird das Ansprechverhalten des Ventilelements, das aus den geschlossenen Zustand in den geöffneten Zustand bewegt wird, unabhängig von einer Reduzierung des Stromverbrauchs während der Ventiloffenhalteperiode verbessert. Daher ist es möglich, ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil mit einem Aufbau zu schaffen, das ein schnelles Ansprechverhalten bei einer Bewegung des Ventilelements aus dem geschlossenen Zustand in den geöffneten Zustand besitzt und bei dem der geöffnete Zustand nach Beendigung des Ventilöffnungsbetriebs bei niedrigem Stromverbrauch stabil gehalten werden kann.

Da ferner erfindungsgemäß das Ansprechverhalten des Ventilelements, das aus dem geschlossenen Zustand in den geöffneten Zustand bewegt wird, unabhängig von einer Reduzierung des Stromverbrauchs während der Ventiloffenhalteperiode verbessert ist, kann selbst dann, wenn die Zeitbreite, während der das Ventil im geöffneten Zustand gehalten wird, kurz ist, eine geringe Kraftstoffmenge genau eingespritzt werden. Daher ist es möglich, eine Kraftstoffeinspritzvorrichtung mit breitem dynamischen Bereich für die Kraftstoffeinspritzung zu schaffen. Da ferner der Stromverbrauch während der Ventiloffenhalteperiode reduziert werden kann, ist es möglich, eine Kraftstoffeinspritzvorrichtung

mit niedrigem Stromverbrauch zu schaffen.

Da ferner erfindungsgemäß das Ansprechverhalten des aus dem Zustand mit geschlossenem Ventil in den Zustand mit geöffnetem Ventil bewegten Ventilelements unabhängig von der Reduzierung des Stromverbrauchs während der Ventiloffenhalteperiode verbessert ist, wird der Kraftstoff auch im Bereich einer geringen Kraftstoffeinspritzmenge genau eingespritzt. Daher kann ein Verbrennungsmotor geschaffen werden, der einen stabilen Betrieb auch im Bereich geringer Kraftstoffeinspritzmengen aufrechterhalten kann.

Da ferner erfindungsgemäß das Ansprechverhalten des aus dem geschlossen Zustand in den geöffneten Zustand bewegten Ventilelements unabhängig von der Reduzierung des Stromverbrauchs während der Ventiloffenhalteperiode verbessert ist, kann ein Verfahren zur Steuerung der Kraftstoffeinspritzung geschaffen werden, mit dem ein schnelles Ansprechverhalten des Ventils beim Öffnen und Schließen des Ventils sowie ein niedriger Stromverbrauch während der Ventiloffenhalteperioden möglich ist.

Patentsprüche

1. Elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil (10) zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs, mit einem Ventilsitz (19), einem Ventilelement (16), mit dem der Kraftstoffdurchflußweg, der zwischen dem Ventilsitz (19) und dem Ventilelement (16) gebildet ist, geöffnet/geschlossen wird, und einer Antriebseinrichtung (11, 12) die wenigstens eine Spule zum Antreiben des Ventilelements enthält, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Antriebseinrichtung eine erste Einrichtung (11) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die die wenigstens eine Spule enthält, sowie eine zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält, und die erste Einrichtung (11) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft und die zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft so beschaffen sind, daß die erste Einrichtung (11) eine magnetomotorische Kraft mit einer höheren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Einrichtung (12) erzeugt und erhöht.
2. Elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die zweite Einrichtung entweder ein Permanentmagnet (42) oder eine Spule (12) vorgesehen ist, durch die ununterbrochen sowohl während der Periode, in der das Ventil geöffnet ist, als auch während der Periode, in der das Ventil geschlossen ist, ein konstanter Strom fließt.
3. Elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft eine zweite Spule (12) enthält, deren Windungszahl größer als diejenige der ersten Spule (11) ist, die als die wenigstens eine Spule verwendet wird.
4. Elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drahtdurchmesser einer ersten Spule (11), die als die wenigstens eine Spule dient, größer als der Drahtdurchmesser einer zweiten Spule (12) ist, die in der zweiten Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthalten ist.
5. Elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtung die wenigstens eine erste Spule (11) und eine als zweite Einrichtung zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft vorgesehene zweite

Spule (12) enthält,

die erste Spule (11) und die zweite Spule (12) so beschaffen sind, daß, wenn an beide Spulen die gleiche Rechteckspannung angelegt wird, die Anstiegszeit der von der zweiten Spule (12) erzeugten magnetomotorischen Kraft länger als die Anstiegszeit der von der ersten Spule (11) erzeugten magnetomotorischen Kraft ist, und

der Sättigungswert des durch die zweite Spule (12) fließenden Stroms kleiner als der Sättigungswert des durch die erste Spule (11) fließenden Stroms ist.

6. Kraftstoffeinspritzvorrichtung zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs, mit einem elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventil (10), das einen Ventilsitz (19), ein Ventilelement (16) zum Öffnen/Schließen des zwischen dem Ventilsitz (19) und dem Ventilelement (16) gebildeten Kraftstoffdurchflußwegs sowie eine Antriebseinrichtung (11, 12) mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements (16) enthält, und einer Steuereinrichtung (100), mit der das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil (10) durch Steuern des durch die wenigstens eine Spule (11) fließenden Stroms gesteuert wird, enthält, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtung eine erste Einrichtung (11) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die die wenigstens eine Spule verwendet, und eine zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält,

die Spule (11) und die zweite Einrichtung (12) eine magnetomotorische Kraft in einer Richtung erzeugen, in der sich die von der Spule (11) erzeugte Kraft und die von der zweiten Einrichtung (12) erzeugte Kraft während einer anfänglichen Ventilöffnungsperiode, in der das Ventilelement (16) aus einem geschlossenen Zustand in einen geöffneten Zustand bewegt wird, gegenseitig verstärken,

die Spule (11) die magnetomotorische Kraft mit einer höheren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Einrichtung (12) erhöht und

der durch die Spule (11) fließende Strom während einer Ventiloffenhalteperiode, in der das Ventilelement (16) durch die von der zweiten Einrichtung (12) erzeugte magnetomotorische Kraft geöffnet gehalten wird, unterbrochen wird.

7. Kraftstoffeinspritzvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die zweite Einrichtung (12) entweder ein Permanentmagnet (42) oder eine Spule (12) vorgesehen ist, durch die ununterbrochen sowohl während der Periode, in der das Ventil geöffnet ist, als auch während der Periode, in der das Ventil geschlossen ist, ein konstanter Strom fließt.

8. Kraftstoffeinspritzvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die wenigstens eine erste Spule eine erste Spule (11) vorgesehen ist und für die zweite Einrichtung eine zweite Spule (12) vorgesehen ist.

9. Kraftstoffeinspritzvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß

durch die erste Spule (11) während einer im voraus festgelegten Zeitperiode, in der der Stromfluß in der einen Richtung durch die erste Spule (11) unterbrochen ist, ein entgegengesetzt gerichteter Strom fließt und der entgegengesetzt gerichtete Strom während einer im voraus festgelegten Zeitperiode am Ende des Kraftstoffeinspritzanforderungssignals erneut durch die erste Spule (11) und/oder durch die zweite Spule (12) fließt.

10. Kraftstoffeinspritzvorrichtung nach irgendeinem

der Ansprüche 6 bis 9, gekennzeichnet durch wenigstens einen Drucksensor (7) zum Erfassen des Drucks des an das Kraftstoffeinspritzventil (10) geförderten Kraftstoffs und einen Spannungssensor zum Erfassen der an die erste Einrichtung (11) und an die zweite Einrichtung (12) angelegten Spannung, wobei die Steuereinrichtung (100) eine Speichereinrichtung zum Speichern einer Beziehung zwischen dem Kraftstoffdruck und dem Zeitpunkt (T_c), zu dem der Strom unterbrochen wird, der durch die als erste Einrichtung dienende Spule (11) fließt, und/oder einer Beziehung zwischen der an die erste Einrichtung (11) und an die zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft angelegten Spannung und dem Zeitpunkt (T_c), zu dem der Strom unterbrochen wird, der durch die als erste Einrichtung dienende Spule (11) fließt, enthält und den Zeitpunkt zum Unterbrechen des durch die erste Spule (11) fließenden Stroms anhand des Kraftstoffdrucks und/oder anhand der an die erste Einrichtung (11) und an die zweite Einrichtung (12) angelegten Spannung, die vom Drucksensor (7) bzw. vom Spannungssensor erfaßt werden, sowie anhand der entsprechenden dieser Beziehungen bestimmt.

11. Verbrennungsmotor, in den Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs eingespritzt wird, der einen Kraftstofftank (9), eine Kraftstoffpumpe (3), die Kraftstoff vom Kraftstofftank (9) fördert und mit Druck beaufschlagt, ein elektromagnetisches Kraftstoffeinspritzventil (10), das Kraftstoff, der durch die Kraftstoffpumpe (3) mit Druck beaufschlagt worden ist, einspritzt und versehen ist mit einem Ventilsitz (19), einem Ventilelement (16) zum Öffnen/Schließen des zwischen dem Ventilsitz (19) und dem Ventilelement (16) ausgebildeten Kraftstoffdurchflußwegs und einer Antriebseinrichtung (11, 12) mit wenigstens einer Spule zum Antreiben des Ventilelements (16), sowie eine Steuereinrichtung (100) zum Bestimmen des Kraftstoffeinspritzzeitpunkts und der vom Einspritzventil (10) einzuspritzenden erforderlichen Kraftstoffeinspritzmenge und zum Betätigen des Einspritzventils (10) durch Steuern des durch die Spule fließenden Stroms enthält, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebseinrichtung eine erste Einrichtung (11) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft, die die wenigstens eine Spule verwendet, und eine zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält, die Spule (11) und die zweite Einrichtung (12) eine magnetomotorische Kraft in der gleichen Richtung erzeugen, in der sich die von der Spule (11) erzeugte Kraft und die von der zweiten Einrichtung (12) erzeugte Kraft während einer anfänglichen Ventilöffnungszeit, in der das Ventilelement (16) aus dem geschlossenen Zustand in den geöffneten Zustand bewegt wird, gegenseitig verstärken, die Spule (11) die magnetomotorische Kraft mit einer größeren zeitlichen Änderungsrate als die zweite Einrichtung (12) erhöht und der durch die erste Spule (11) fließende Strom während einer Ventiloffenhalteperiode, in der das Ventilelement (16) durch die von der zweiten Einrichtung (12) erzeugte magnetomotorische Kraft geöffnet gehalten wird, unterbrochen wird.

12. Verbrennungsmotor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß für die zweite Einrichtung (12)

entweder ein Permanentmagnet (42) oder eine Spule (12) vorgesehen ist, durch die ununterbrochen sowohl während der Periode, in der das Ventil geöffnet ist, als auch während der Periode, in der das Ventil geschlossen ist, ein konstanter Strom fließt.

13. Verbrennungsmotor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß für die wenigstens eine erste Spule eine erste Spule (11) vorgesehen ist und für die zweite Einrichtung eine zweite Spule (12) vorgesehen ist.

14. Verbrennungsmotor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß durch die erste Spule (11) während einer im voraus festgelegten Zeitperiode, in der der Stromfluß in der einen Richtung durch die erste Spule (11) unterbrochen ist, ein entgegengesetzt gerichteter Strom fließt und der entgegengesetzt gerichtete Strom während einer im voraus festgelegten Zeitperiode am Ende des Kraftstoffeinspritzanforderungssignals erneut durch die erste Spule (11) und/oder die zweite Spule (12) fließt.

15. Verbrennungsmotor nach irgendeinem der Ansprüche 11 bis 14, gekennzeichnet durch wenigstens einen Drucksensor (7) zum Erfassen des Drucks des an das Kraftstoffeinspritzventil (10) geförderten Kraftstoffs und einen Spannungssensor zum Erfassen der an die erste Einrichtung (11) und an die zweite Einrichtung (12) angelegten Spannung, wobei die Steuereinrichtung (100) eine Speichereinrichtung zum Speichern einer Beziehung zwischen dem Kraftstoffdruck und dem Zeitpunkt (T_c), zu dem der Strom unterbrochen wird, der durch die als erste Einrichtung dienende Spule (11) fließt, und/oder einer Beziehung zwischen der an die erste Einrichtung (11) und an die zweite Einrichtung (12) angelegten Spannung und dem Zeitpunkt, zu dem der Strom unterbrochen wird, der durch die als erste Einrichtung dienende Spule (11) fließt, enthält und den Zeitpunkt zum Unterbrechen des durch die erste Spule (11) fließenden Stroms anhand des Kraftstoffdrucks und/oder anhand der an die erste Einrichtung (11) und an die zweite Einrichtung (12) angelegten Spannung, die vom Drucksensor (7) bzw. vom Spannungssensor erfaßt werden, sowie anhand der entsprechenden dieser Beziehungen bestimmt.

16. Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff durch Öffnen/Schließen eines Kraftstoffdurchflußwegs mittels eines Ventilelements (16) eines elektromagnetischen Kraftstoffeinspritzventils (10), das eine erste Einrichtung (11) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft und eine zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft enthält und durch die magnetomotorischen Kräfte, die durch die erste Einrichtung (11) und durch die zweite Einrichtung (12) erzeugt werden, angetrieben wird, wobei der Kraftstoffdurchflußweg zwischen dem angetriebenen Ventilelement (16) und einem Ventilsitz (19), auf dem das Ventilelement (16) aufsitzt, gebildet ist, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft durch wenigstens eine Spule, die als erste Einrichtung (11) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft vorgesehen ist, und durch eine zweite Einrichtung (12) zum Erzeugen einer magnetomotorischen Kraft in einer Richtung, in der sich die von der wenigstens einen Spule (11) erzeugte Kraft und die von der zweiten Einrichtung (12) erzeugte Kraft während einer anfänglichen Ventilöffnungszeit, in der das Ventilelement (16) aus einem Zu-

stand mit geschlossenem Ventil in einen Zustand mit geöffnetem Ventil bewegt wird, gegenseitig verstärken, wobei die von der wenigstens einen Spule (11) erzeugte Kraft mit einer größeren zeitlichen Änderungsrate als derjenigen der Kraft, die von der zweiten Einrichtung (12) erzeugt wird, erhöht wird; und 5
 Unterbrechen des Stromflusses durch die wenigstens eine Spule (11) während einer Ventilloffenhalteperiode, in der das Ventilelement (16) durch die von der zweiten Einrichtung (12) erzeugte Kraft geöffnet gehalten wird. 10
 17. Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß für die zweite Einrichtung (12) entweder ein Permanentmagnet (42) oder eine Spule (12) vorgesehen, durch die ununterbrochen sowohl während der Periode, in der 15
 das Ventil geöffnet ist, als auch während der Periode, in der das Ventil geschlossen ist, ein konstanter Strom fließt.
 18. Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß für die wenigstens eine erste Spule eine erste Spule (11) vorgesehen ist und für die zweite Einrichtung eine zweite Spule (12) vorgesehen ist. 20
 19. Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß 25
 durch die erste Spule (11) während einer im voraus festgelegten Zeitperiode, in der der Stromfluß in der einen Richtung durch die erste Spule (11) unterbrochen ist, ein entgegengesetzt gerichteter Strom fließt und der entgegengesetzt gerichtete Strom während einer im voraus festgelegten Zeitperiode am Ende des Kraftstoffeinspritzanforderungssignals erneut durch die erste Spule (11) und/oder die zweite Spule (12) fließt. 30
 20. Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff nach Anspruch 16, gekennzeichnet durch den folgenden Schritt: 35
 Speichern einer Beziehung zwischen dem Kraftstoffdruck und dem Zeitpunkt (T_c), zu dem der Strom unterbrochen wird, der durch die als erste Einrichtung (11) dienende wenigstens eine Spule fließt, und/oder einer Beziehung zwischen der an die erste Einrichtung (11) und an die zweite Einrichtung (12) angelegten Spannung und dem Zeitpunkt (T_c), zu dem der Strom unterbrochen wird, der durch die als erste Einrichtung (11) dienende wenigstens eine Spule fließt. 40
 21. Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff nach irgendeinem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck des an das elektromagnetische Kraftstoffeinspritzventil (10) geförderten Kraftstoffs erfaßt wird, wobei eine Zeitperiode, während der der Strom durch die als erste Einrichtung (11) dienende wenigstens eine Spule fließt, verlängert wird, falls der erfaßte Druck höher als im Normalzustand ist. 45
 22. Verfahren zum Einspritzen von Kraftstoff nach irgendeinem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die an die erste Spule (11) angelegte Spannung erfaßt wird, wobei die Zeitperiode, während der ein Strom durch die als erste Einrichtung (11) dienende wenigstens eine Spule fließt, verlängert wird, falls die erfaßte Spannung niedriger als im Normalzustand ist. 50
 55
 60

Hierzu 18 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1A

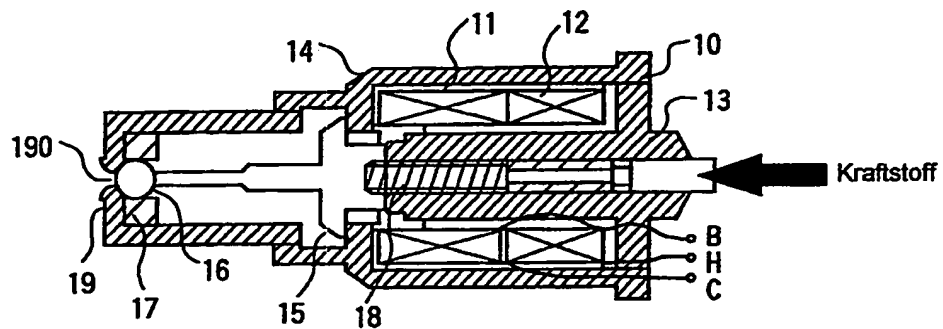


FIG. 1B

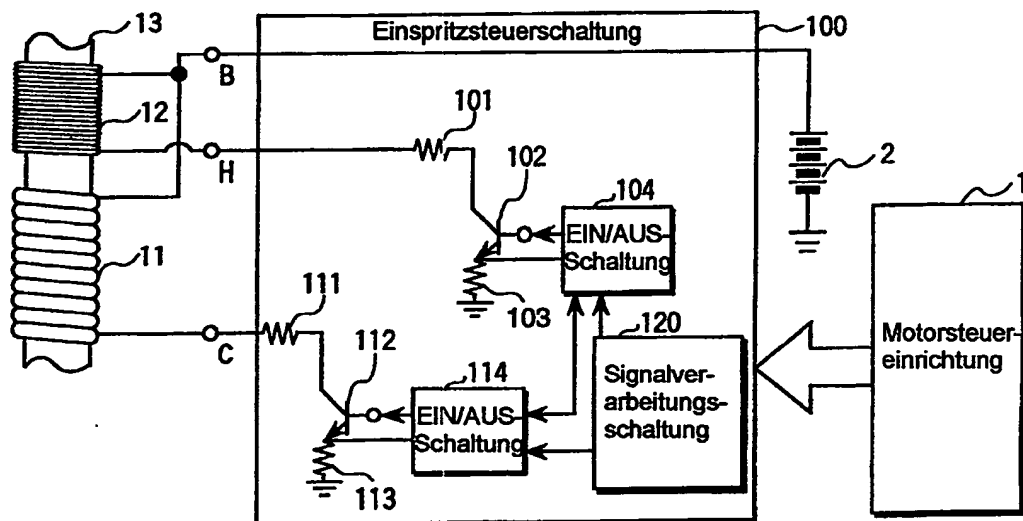


FIG.2A

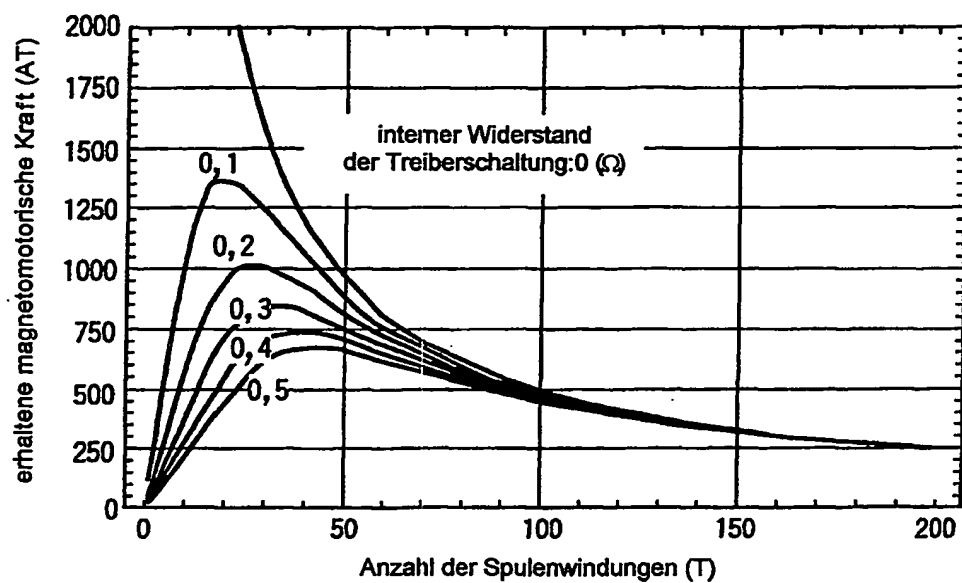


FIG.2B

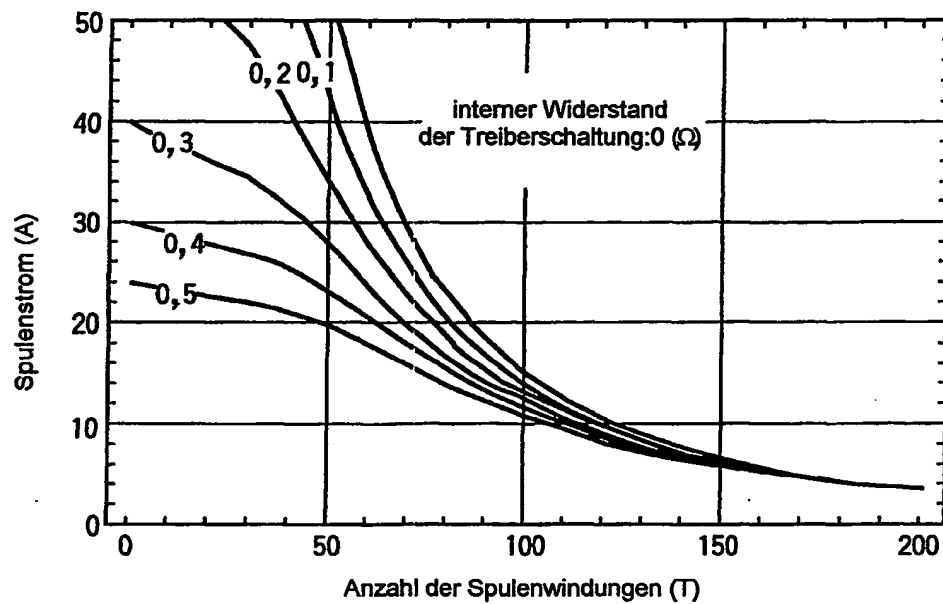


FIG.3A

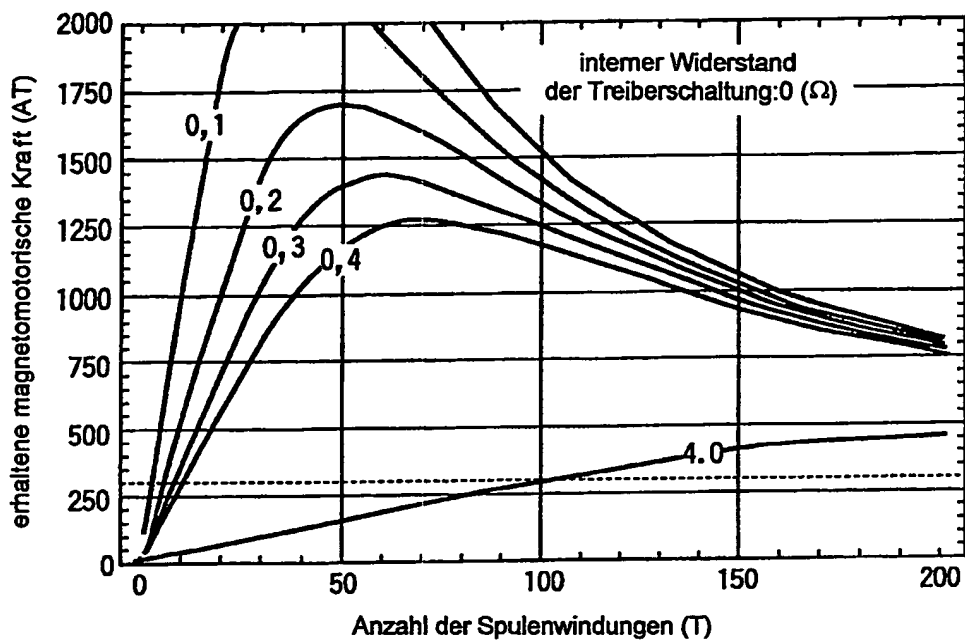


FIG.3B

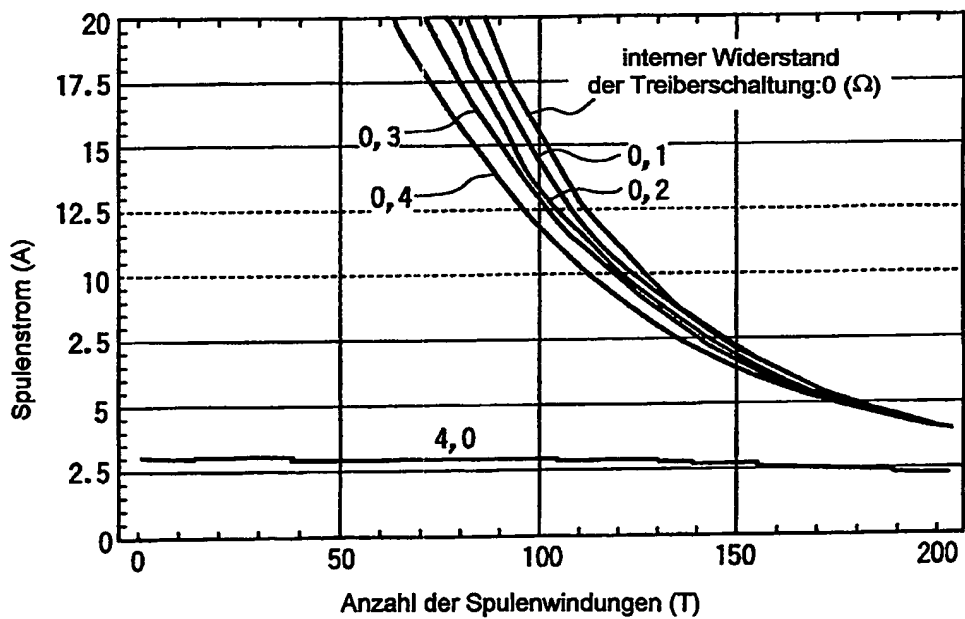


FIG.4A

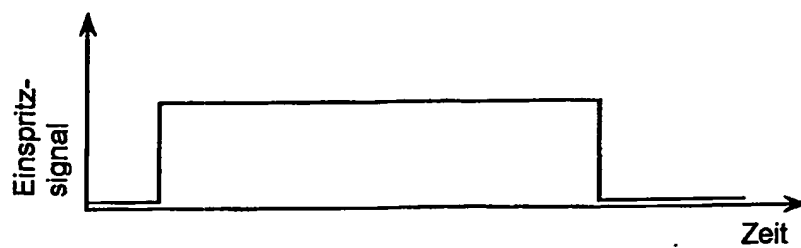


FIG.4B

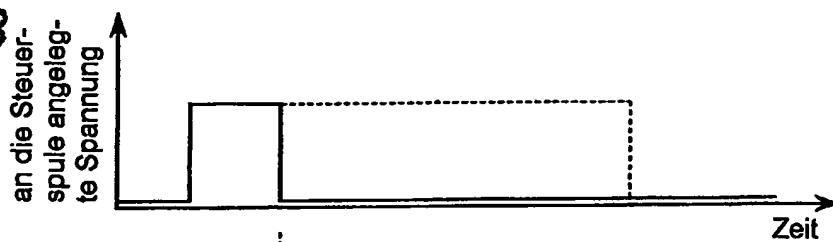


FIG.4C

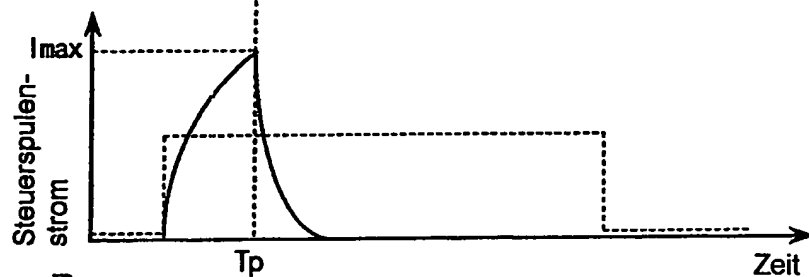


FIG.4D

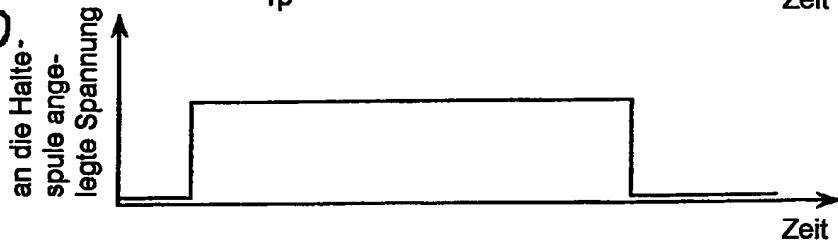


FIG.4E

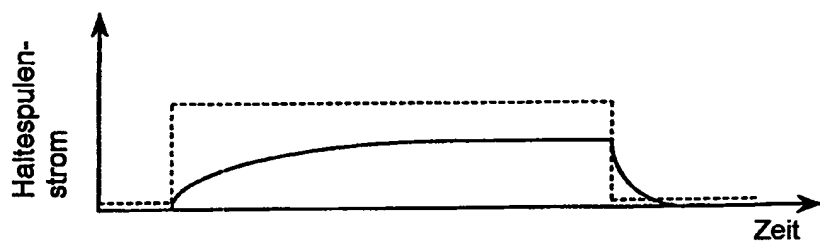


FIG.4F

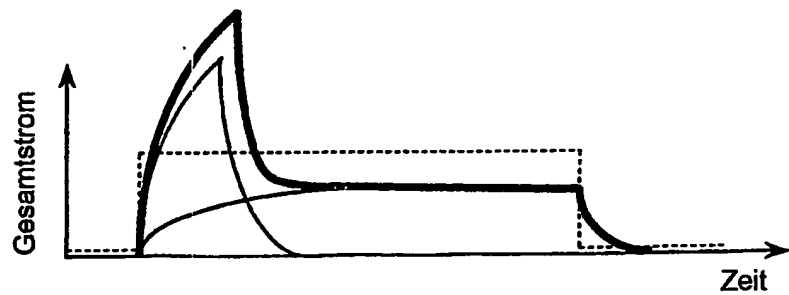


FIG.5A

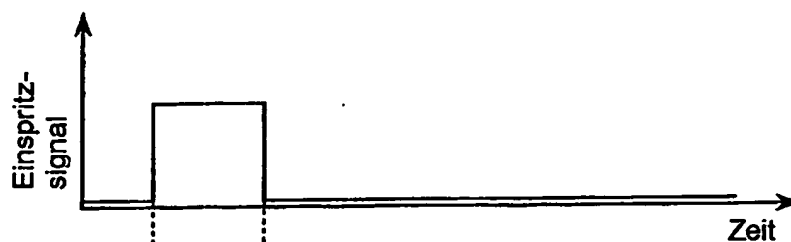


FIG.5B

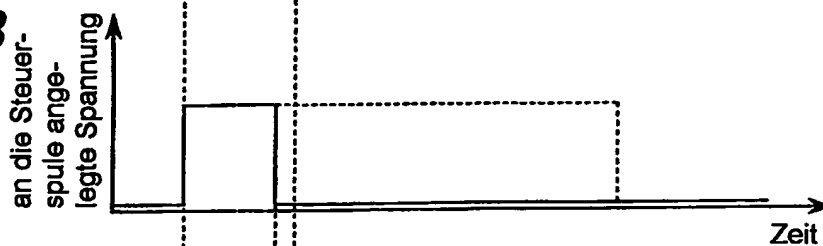


FIG.5C

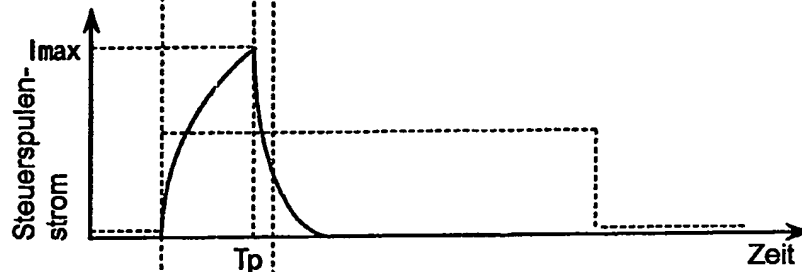


FIG.5D

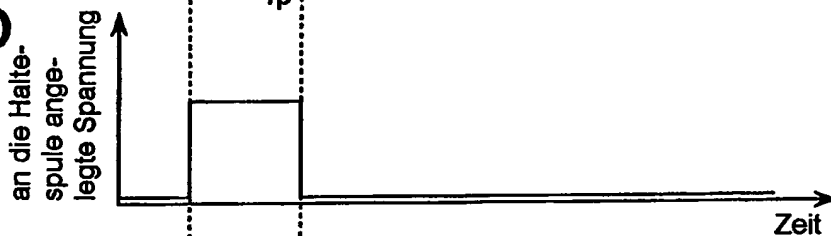


FIG.5E

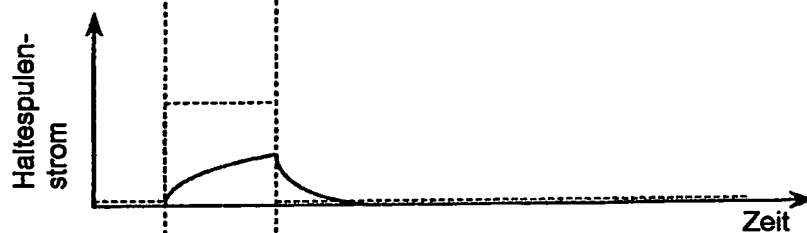


FIG.5F

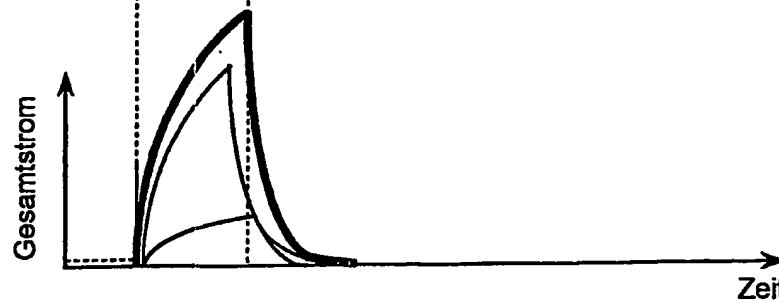


FIG.6A



FIG.6B

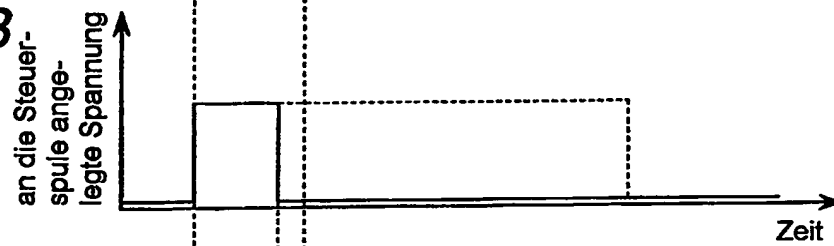


FIG.6C

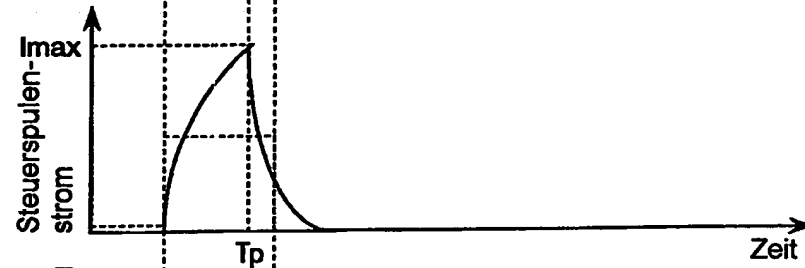


FIG.6D

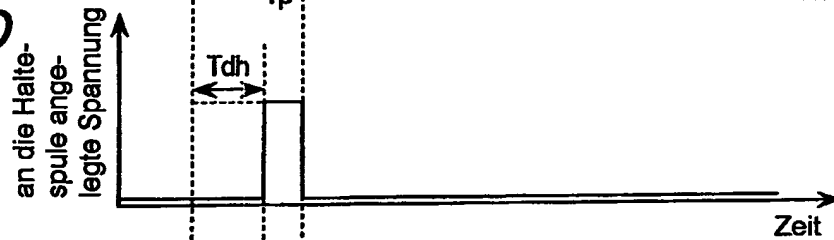


FIG.6E

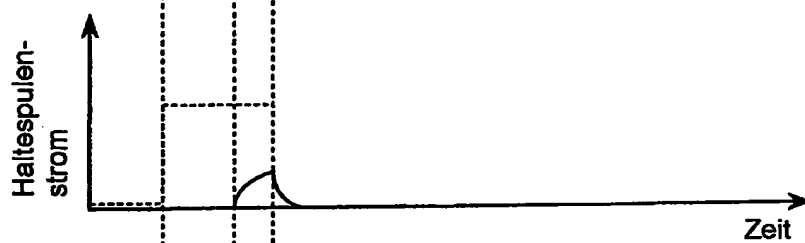


FIG.6F

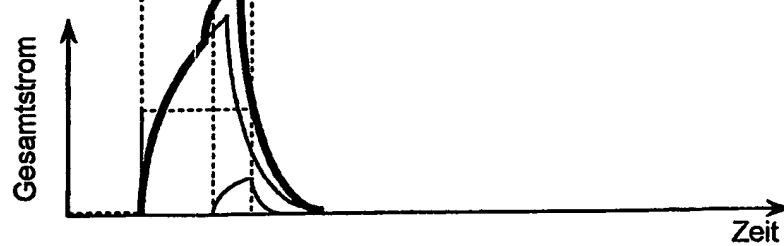


FIG.7A

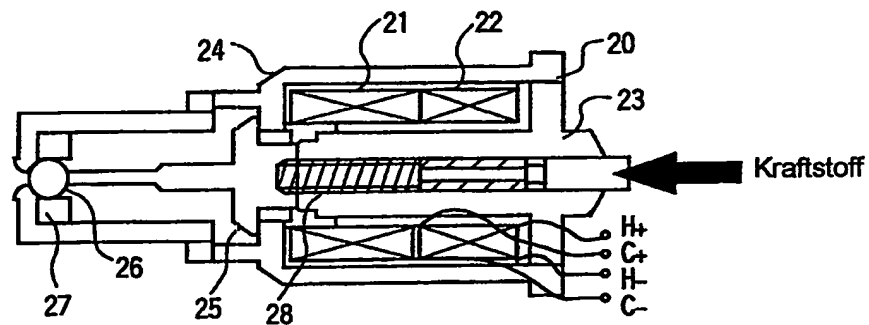


FIG.7B

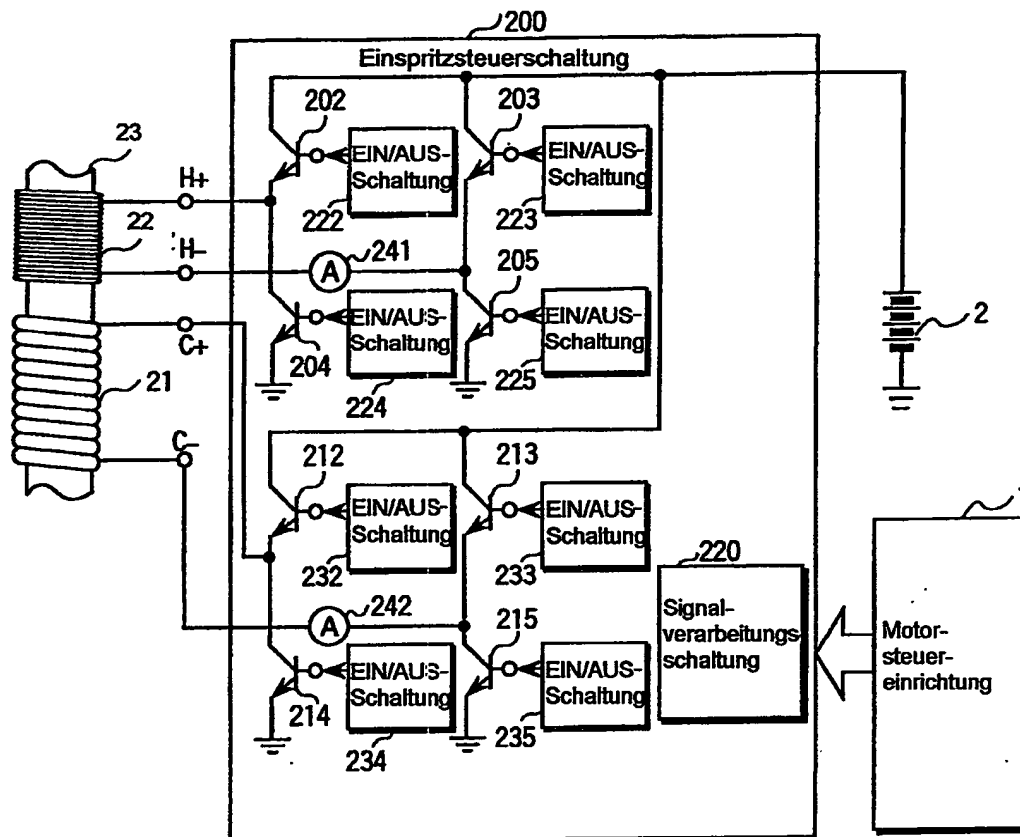


FIG.8A

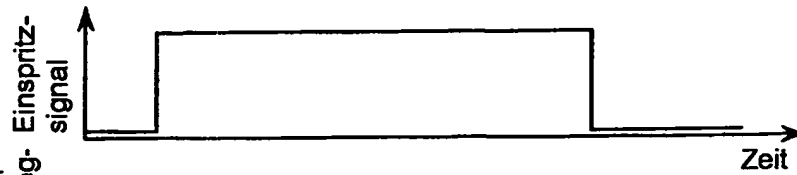


FIG.8B

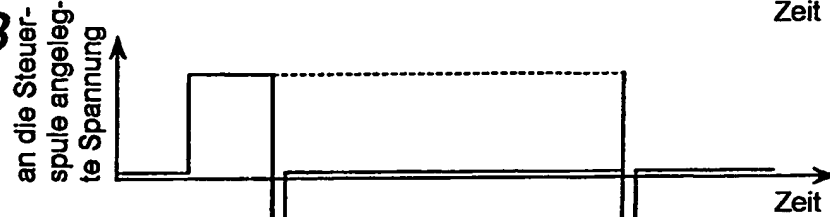


FIG.8C

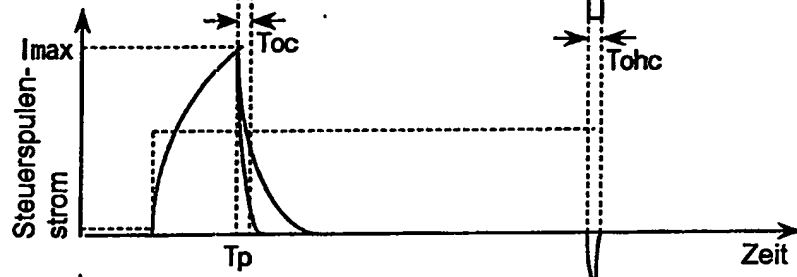


FIG.8D

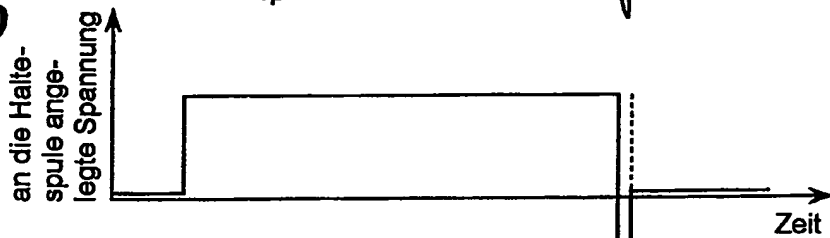


FIG.8E

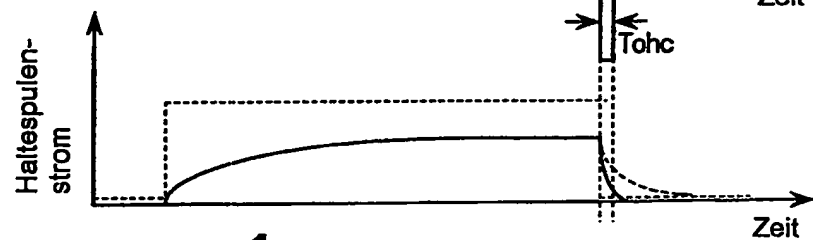


FIG.8F

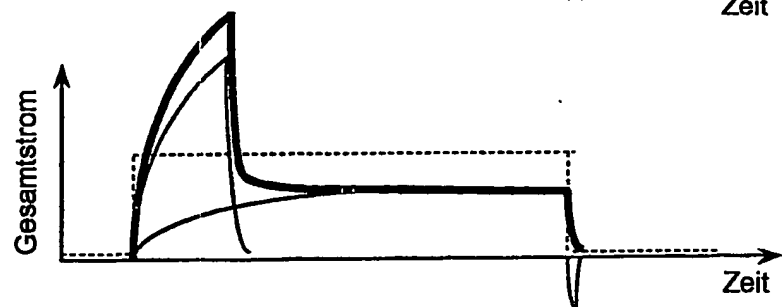


FIG. 9A

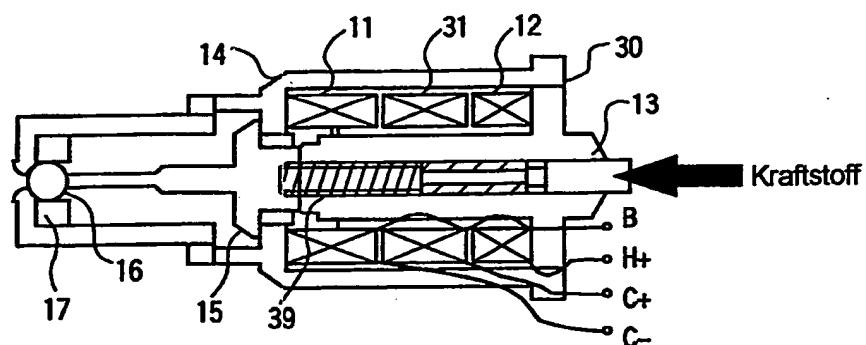


FIG. 9B

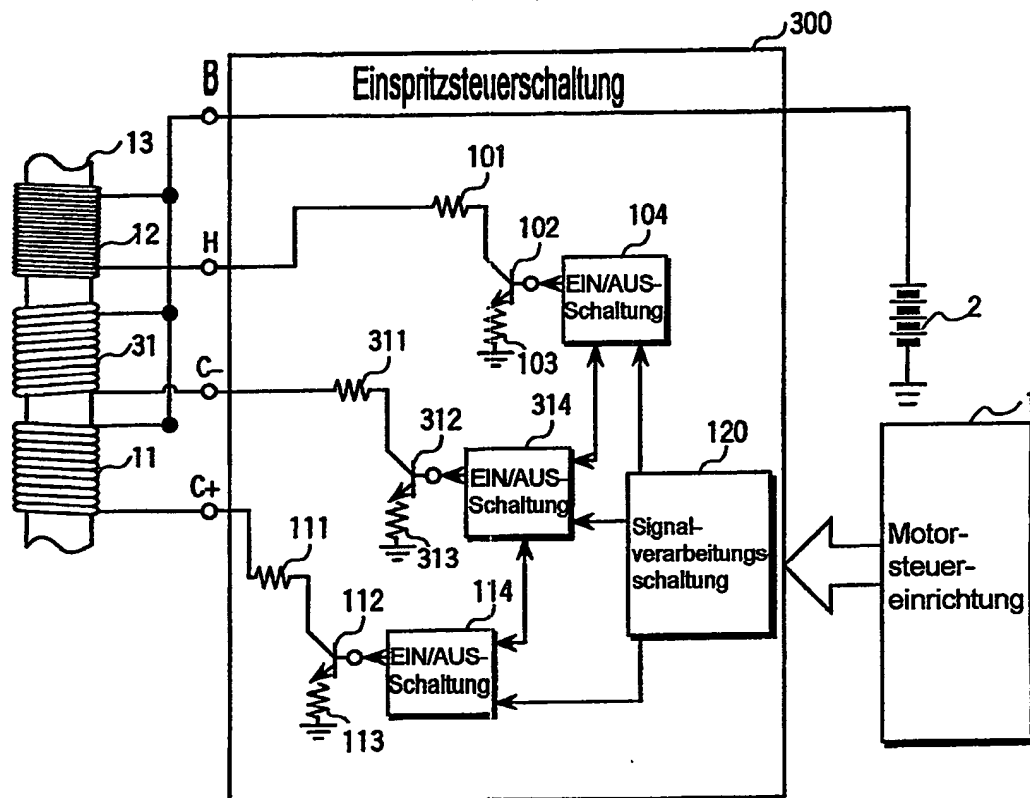


FIG. 10A

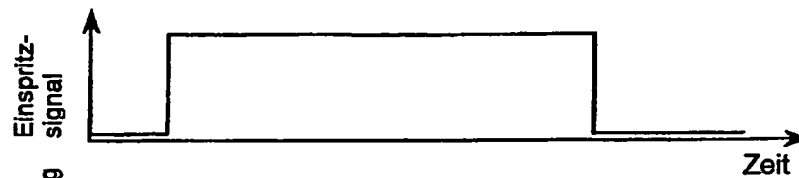


FIG. 10B

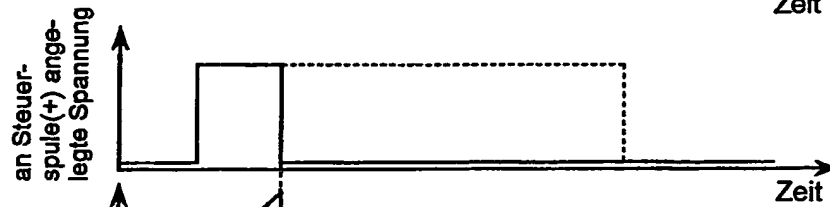


FIG. 10C

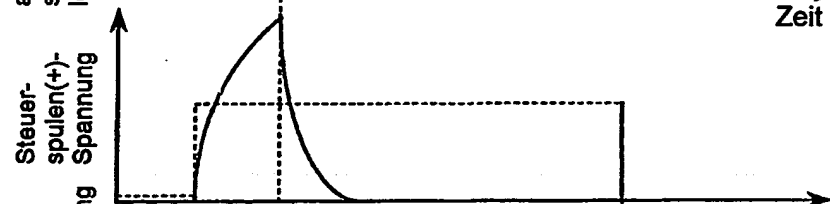


FIG. 10D

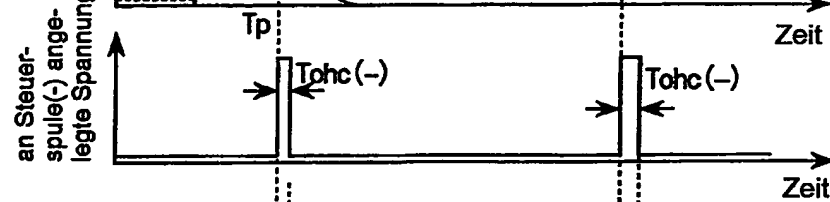


FIG. 10E

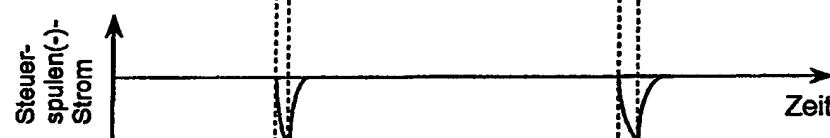


FIG. 10F

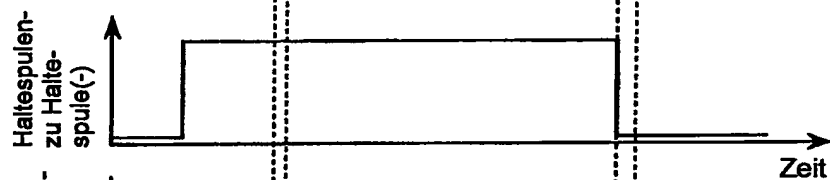


FIG. 10G

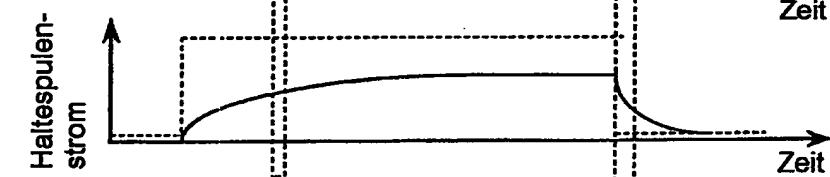


FIG. 10H

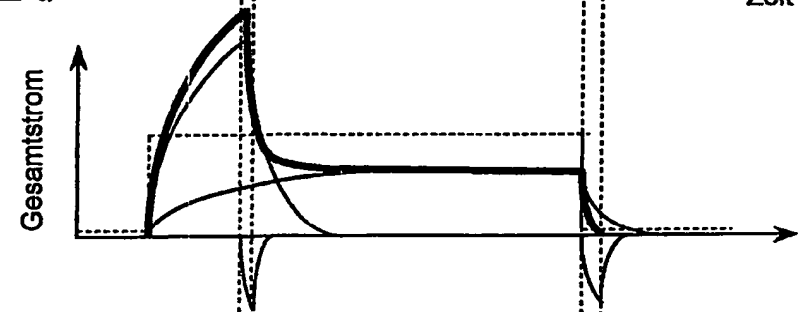


FIG. 11

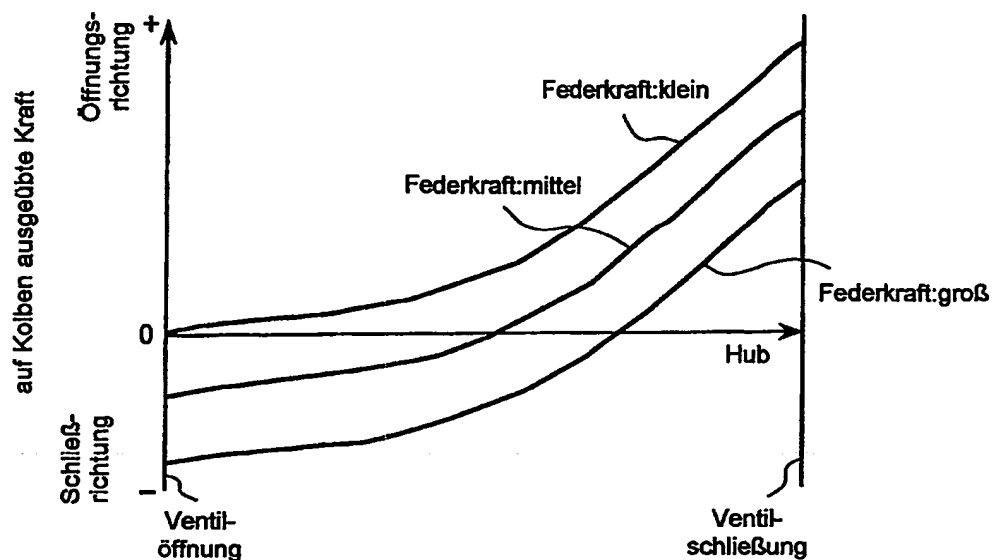


FIG. 14

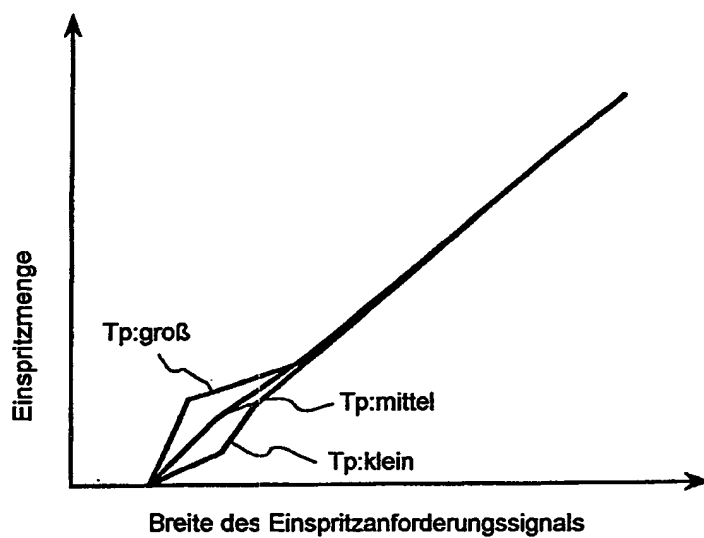


FIG. 12A

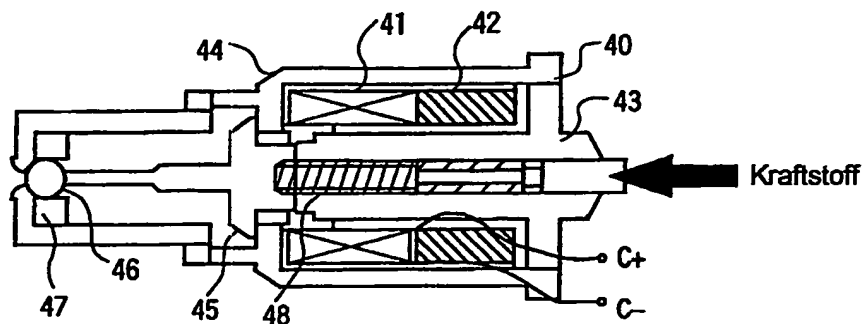


FIG. 12B

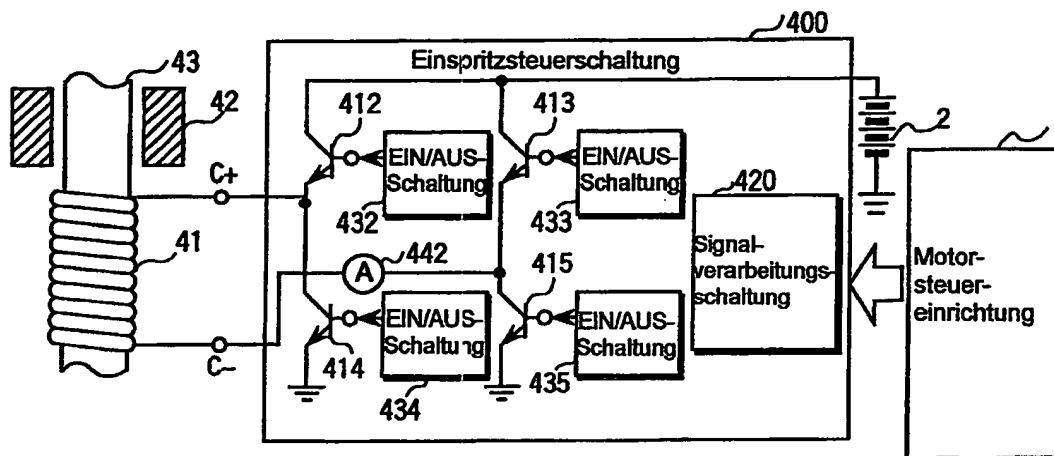


FIG. 13A

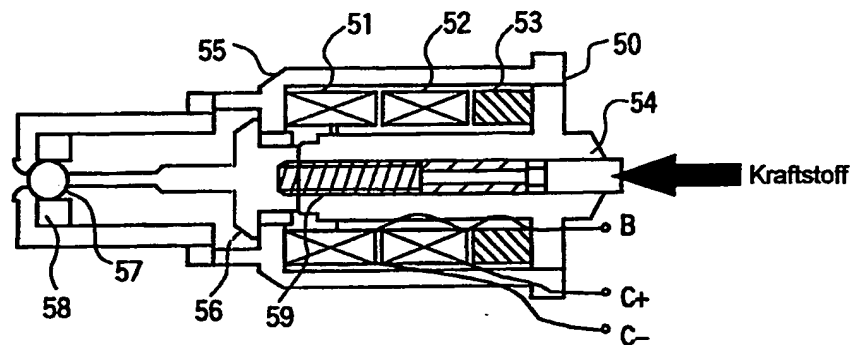


FIG. 13B

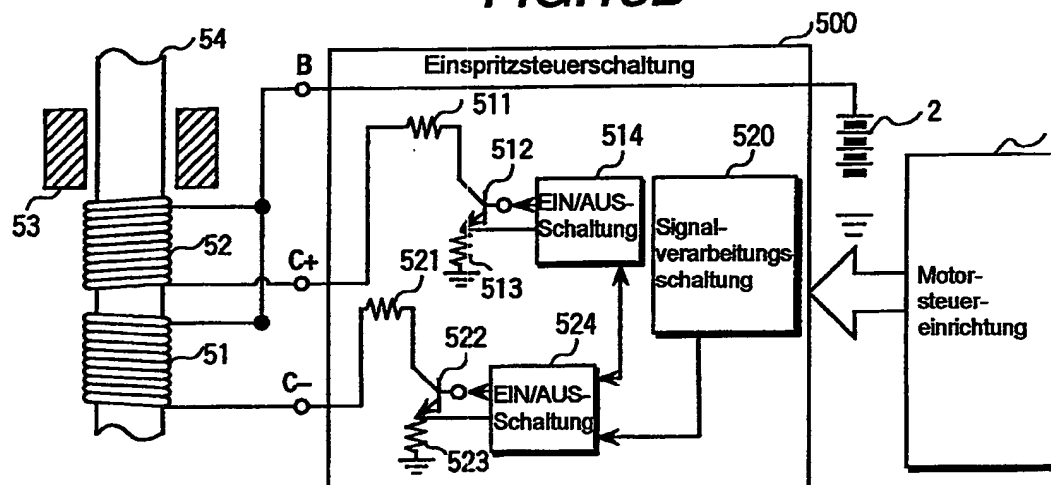


FIG. 15

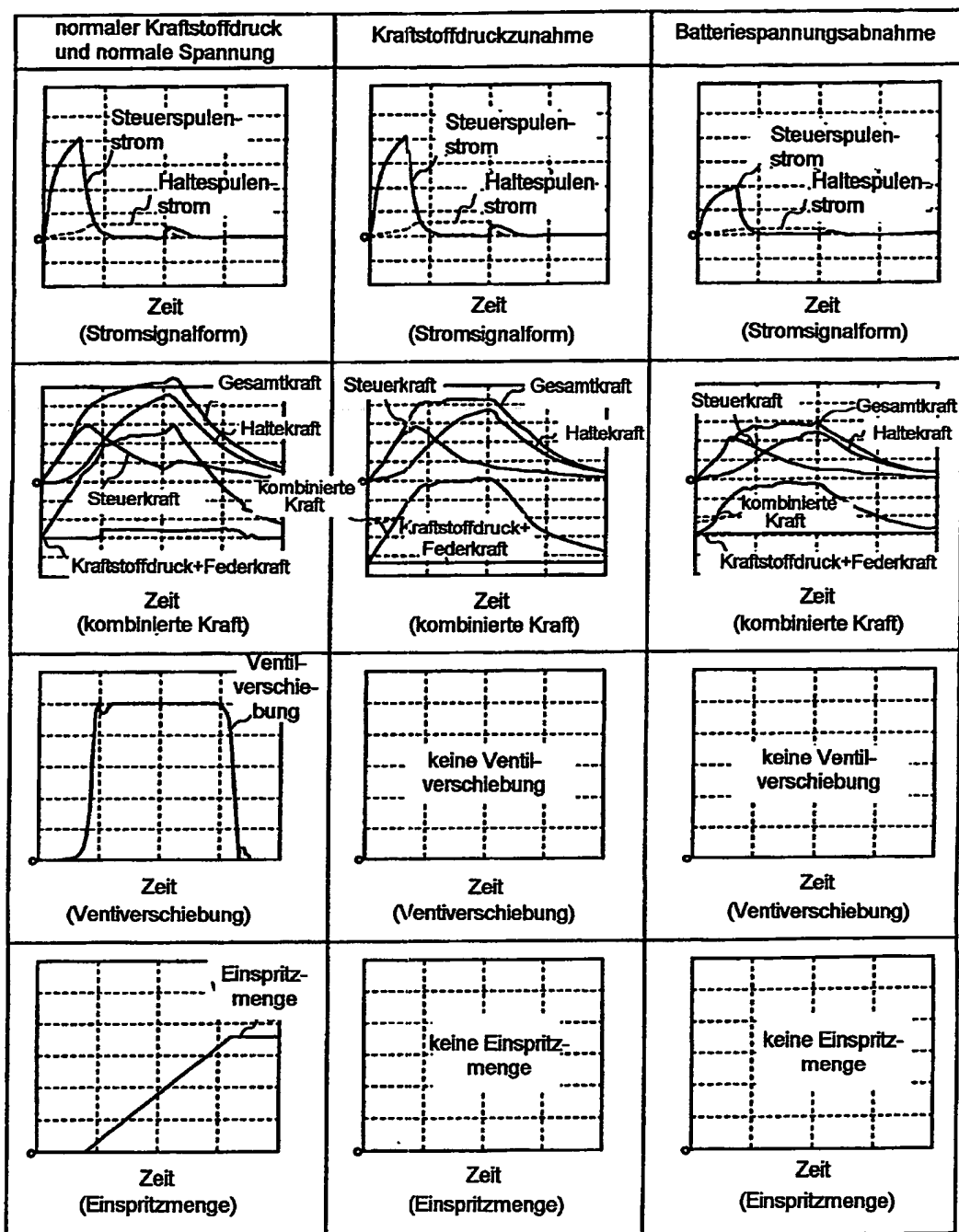


FIG.16A

(Steuerspule mit hoher Induktivität)

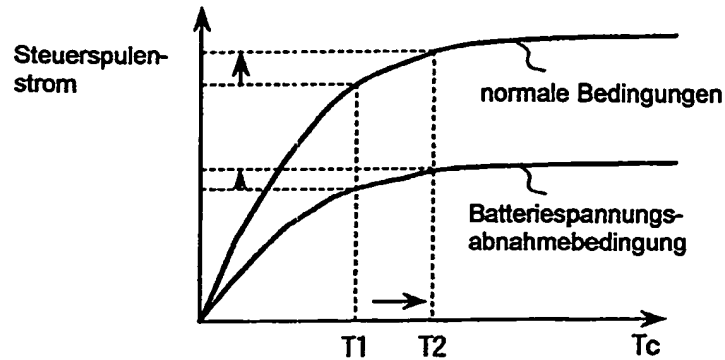


FIG.16B

(Steuerspule mit niedriger Induktivität)

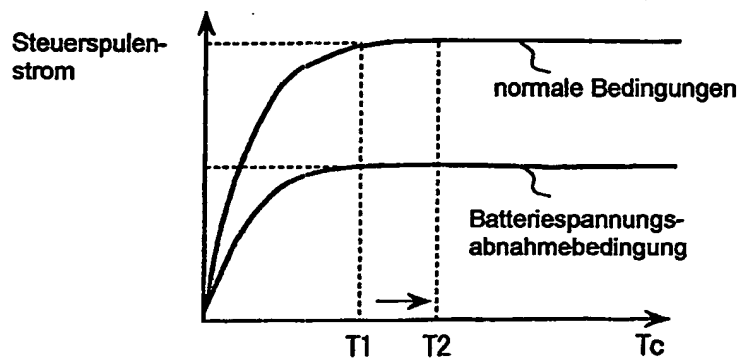


FIG.16C

(Beziehung zwischen Spulenstrom und magnetischer Anziehungskraft)

Strom und magnetische Anziehungskraft für Steuerspule

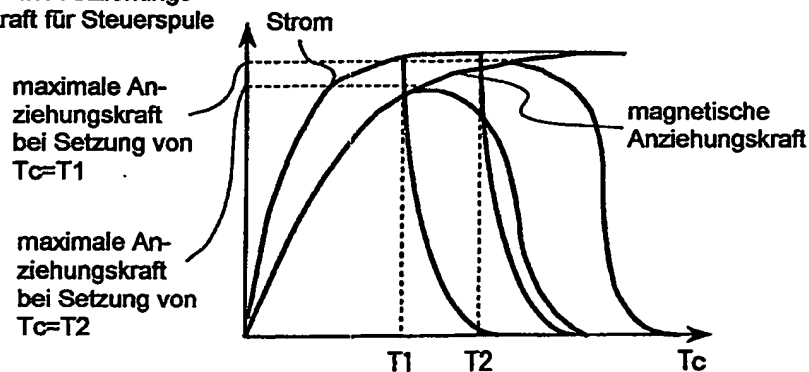


FIG. 17

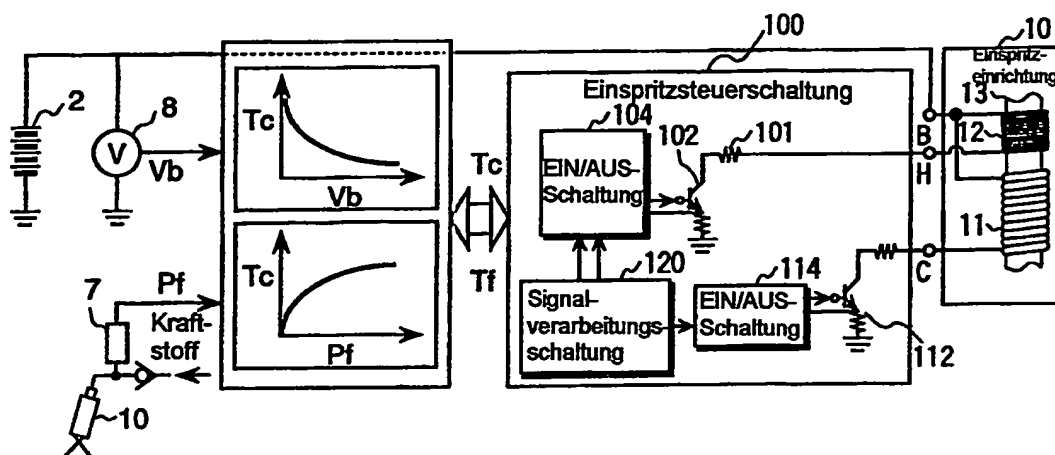


FIG. 18A

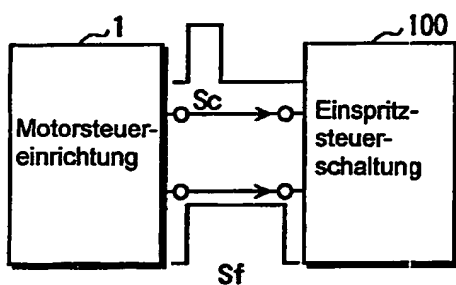


FIG. 18B

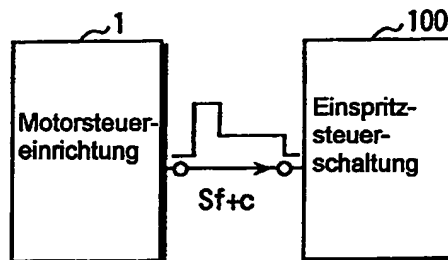


FIG. 18C

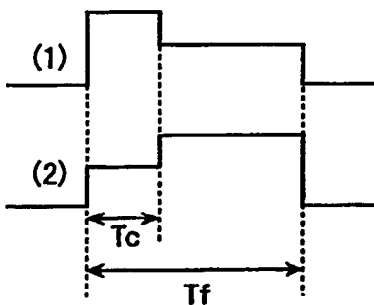


FIG. 18D

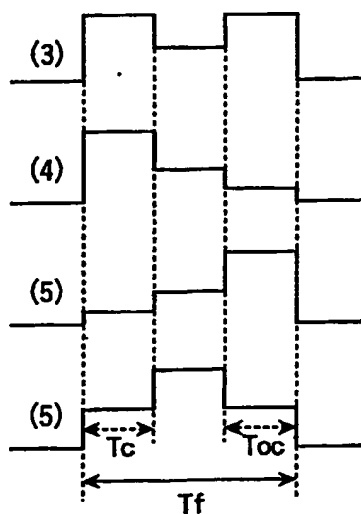


FIG. 19

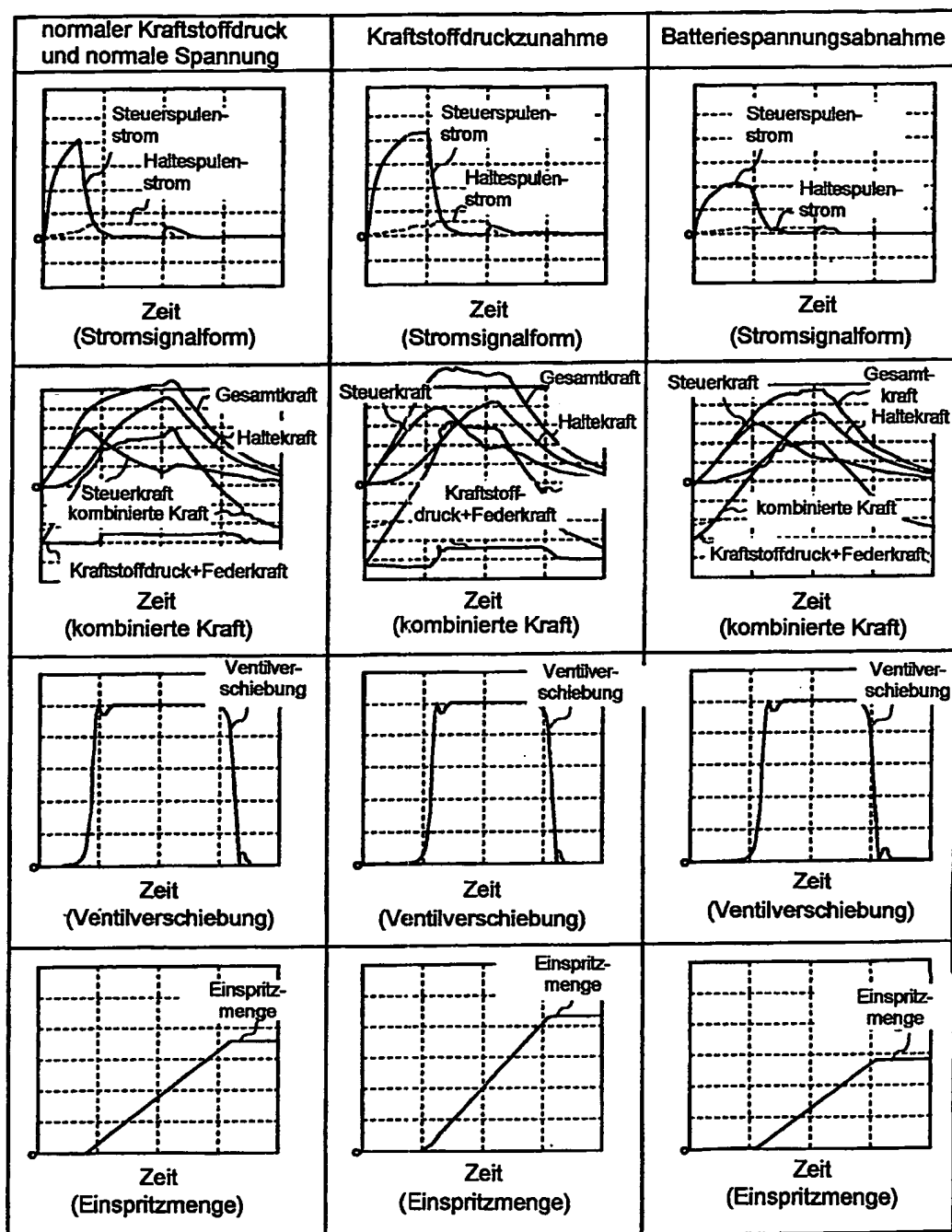


FIG.20

